



---

## **SKRIPSI**

**KINETIKA *LEACHING* LOGAM BERAT Cd PADA  
GEOPOLIMER BERBASIS ABU LAYANG  
PT. IPMOMI**

**BAMBANG HARIYONO  
NRP. 01211440000002**

**Dosen Pembimbing :  
Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D  
Dr. Djoko Hartanto, M.Si**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS ILMU ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



## **SCRIPT**

### ***LEACHING* KINETICS OF HEAVY METAL Cd IN GEOPOLYMER BASED FLY ASH PT. IPMOMI**

**BAMBANG HARIYONO  
NRP. 01211440000002**

**Advisor Lecturer :  
Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D  
Dr. Djoko Hartanto, M.Si**

**CHEMISTRY DEPARTEMENT  
FACULTY OF SCIENCES  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

**KINETIKA *LEACHING* LOGAM BERAT Cd PADA  
GEOPOLIMER BERBASIS ABU LAYANG  
P.T. IPMOMI**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Salah satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**BAMBANG HARIYONO**  
**NRP. 01211440000002**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS ILMU ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Kinetika *Leaching* Ion Logam Berat Cd Pada Geopolimer  
Berbasis Abu Layang PT. IPMOMI**

**SKRIPSI**

Disusun oleh:

**BAMBANG HARIYONO**

**NRP. 01211440000002**

Surabaya, 2 Agustus 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1



**Hamzah Fansuri, M.Si., Ph.D.**  
**NIP 19691017 199412 1 001**

Dosen Pembimbing 2



**Dr. Djoko Hartanto, M.Si.**  
**NIP. 19621028 198803 1 003**



Mengetahui,  
Kepala Departemen Kimia FIA

**Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc.**  
**NIP 19710616 199703 1 002**

*Karya ini kusembahkan untuk Ibu, Bapak  
Dosen pembimbing dan penguji  
Keluarga teman-teman GALAXY 2014  
Kamp Ceria serta seluruh teman-teman  
yang selalu membantu dan memotivasi*

**KINETIKA *LEACHING* LOGAM BERAT Cd PADA  
GEOPOLIMER BERBASIS ABU LAYANG PT.  
IPMOMI**

Nama Mahasiswa : Bambang Hariyono  
NRP : 01211440000002  
Departemen : Kimia ITS  
Dosen Pembimbing : Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D  
Dr. Djoko Hartanto, M.Si

**ABSTRAK**

Geopolimer berbasis abu layang PT. IPMOMI disintesis dengan menambahkan logam Cd dengan variasi konsentrasi 1000, 4000, 8000 dan 16000 ppm sebagai limbah buatan untuk diamobilisasi kedalam jaringan geopolimer. Penambahan logam Cd dengan konsentrasi 1000 ppm menghasilkan kuat tekan terbaik yaitu 24,28 MPa. Geopolimer yang telah ditambahkan limbah buatan kemudian diuji *leaching* dengan merendam kedalam *buffer* asetat dengan pH 5, dan geopolimer dengan penambahan logam Cd 16000 ppm menghasilkan ion logam  $Cd^{2+}$  yang terleaching paling banyak yaitu 8,97%. Dari geopolimer yang telah disintesis dan diuji *leaching* ditentukan model kinetika *leaching*nya yaitu *Ash Diffusion Control* yang mengartikan bahwa mekanisme proses *leaching* adalah larutan *buffer* masuk menembus permukaan geopolimer dan meleaching ion logam  $Cd^{2+}$  yang terdapat dalam geopolimer. Geopolimer yang telah disintesis diuji dengan menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui mikrostruktur dari geopolimer tersebut.

**Kata kunci** : Abu layang, Geopolimer, Logam Cd, Kuat tekan, amobilisasi, kinetika *leaching*.

## ***LEACHING KINETICS OF HEAVY METAL Cd IN GEOPOLYMER BASED FLY ASH PT. IPMOMI***

Nama Mahasiswa : Bambang Hariyono  
NRP : 01211440000002  
Departemen : Kimia ITS  
Dosen Pembimbing : Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D  
Dr. Djoko Hartanto, M.Si

### **ABSTRACT**

Geopolymer based fly ash PT. IPMOMI is synthesized by adding Cd metal with concentration variations of 1000, 4000, 8000 and 16000 ppm as artificial wastes to be immobilized into the geopolymer network. The addition of metal Cd with the concentration of 1000 ppm produces the best compressive strength that is 24.28 MPa. The geopolymer that has been added to the artificial waste was then leached tested by immersing it into acetate buffer with pH 5, and geopolymer with the addition of 16000 ppm Cd metal produced metal ion  $\text{Cd}^{2+}$  which leached highest that is 8.97%. From geopolymer that has been synthesized and tested leaching is determined leaching kinetic model that is Ash Diffusion Control which means that leaching process mechanism is incoming buffer solution penetrate geopolymer surface and leaching metal ion  $\text{Cd}^{2+}$  contained in geopolymer. Synthesized geopolymers were tested using SEM-EDX to find out the microstructure of the geopolymer.

**Key Words** : Fly Ash, Geopolymer, Cd metals, Compressive Strength, amobilisation, leaching kinetic.

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin.* Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga naskah skripsi yang berjudul “Kinetika *Leaching* Logam Berat Cd pada Geopolimer Berbasis Abu Layang PT IPMOMI” dapat diselesaikan dengan baik. Tulisan ini tidak akan terwujud dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari semua pihak, Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Hamzah Fansuri M.Si., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang selama ini telah memberikan bimbingan dan pengarahan baik selama proses penyelesaian naskah ini.
2. Dr. Djoko Hartanto M.Si., selaku dosen pembimbing serta Kepala Laboratorium Kimia Material dan Energi yang telah memberikan bimbingan dan saran yang baik selama proses penyelesaian naskah ini.
3. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Kimia atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Bapak, Ibu dan Kakak yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa.
5. Ririn Indriyanti yang telah memberikan semangat dalam menyelesaikan naskah skripsi.
6. Teman teman dari Kamp Ceria, Trio GJB serta penghuni kos Bu Siha yang memberikan vidio-vidio motivasi.

Surabaya, 13 Juli 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Perumusan Masalah .....	3
1.3.Tujuan Penelitian .....	3
1.4.Manfaat Penelitian .....	4
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1.Geopolimer .....	5
2.2.Abu Layang .....	8
2.3.Basa Aktivator .....	9
2.4.Buffer Asetat.....	10
2.5.Amobilisasi Logam Berat dalam Geopolimer .....	10
2.6.Kinetika Reaksi dari Proses <i>Leaching</i> .....	11
2.7.AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) .....	13
2.8.XRD.....	15
2.9.SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ).....	16
2.10. <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (EDX) .....	17
2.11.Uji Kuat Tekan Beton .....	17
BAB III .....	21
METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1.Alat dan Bahan.....	21

3.1.1.Alat. ....	21
3.1.2.Bahan .....	21
3.2.Prosedur Kerja .....	22
3.2.1.Analisa Komponen Penyusun <i>Waterglass</i> .....	22
3.2.2.Preparasi Abu Layang .....	23
3.2.3.Pembuatan Basa Pengaktif .....	24
3.2.4.Persiapan Cetakan Geopolimer .....	24
3.2.5.Pembuatan Spesimen Geopolimer .....	25
3.2.6.Pembuatan Larutan <i>Buffer</i> pH 5 .....	26
3.2.7. <i>Leaching</i> logam Berat dalam Geopolimer .....	26
3.3.Karakterisasi .....	27
3.3.1.Sifat Mekanik .....	27
3.3.2.Analisa Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) .....	27
3.3.3.Analisa SEM-EDX .....	28
BAB IV .....	29
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1.Analisa <i>Waterglass</i> .....	29
4.2.Preparasi Abu Layang .....	30
4.3.Sifat Mekanik Geopolimer .....	32
4.4.Amobilisasi Ion Logam Berat Cd <sup>2+</sup> .....	37
4.5.Kinetika <i>Leaching</i> Ion Logam Cd <sup>2+</sup> pada Geopolimer Berdasarkan Abu Layang PT. IPMOMI .....	41
4.6.Hasil Pengujian SEM-EDX .....	46
BAB V .....	55
KESIMPULAN .....	55
DAFTAR PUSTAKA .....	57
LAMPIRAN .....	61
BIODATA PENULIS .....	91



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Model proses pembentukan geopolimer dari abu layang dalam larutan basa (Gambar dari Fernandez-Jimenez, dkk., 2005).....	5
Gambar 2. 2. Struktur Ikatan Si-O-Si dan Si-O Al pada Geopolimer (Nicolas dkk., 2017).....	6
Gambar 2. 3. Struktur Geopolimer yang Digambarkan Secara 3 Dimensi (Nicolas dkk., 2017). ....	7
Gambar 2. 4. Struktur Jaringan Geopolimer .....	8
Gambar 2. 5. Hasil SEM abu layang (Tao, dkk., 2018).....	9
Gambar 2. 6. Reaksi Geopolimer Saat Mengalami Pertukaran Ion pada Proses <i>Leaching</i> .....	11
Gambar 2. 7. Mekanisme <i>Leaching</i> pada Geopolimer .....	12
Gambar 2. 8. Benda Uji Silinder. ....	18
Gambar 4. 1. Grafik XRD dari Abu Layang P.T IPMOMI sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer (Supriadi, 2017).....	30
Gambar 4. 2. Kuat Tekan Geopolimer Sebelum Proses <i>Leaching</i> (a) Tanpa Penambahan Logam Cd (b) dengan Penambahan Logam Cd.....	34
Gambar 4. 3. Kuat Tekan Geopolimer Setelah Proses <i>Leaching</i> (a) Tanpa Penambahan Logam Cd (b) dengan Penambahan Logam Cd.....	35
Gambar 4. 4. Perbandingan Kuat Tekan (a) Sebelum <i>Leaching</i> (b) Setelah <i>Leaching</i> .....	36
Gambar 4. 5. Hubungan Waktu Pengambilan Sampel dengan Konsentrasi Ion Logam Cd <sup>2+</sup> yang Terleaching (a) 1000 ppm (b) 4000 ppm (c) 8000 ppm (d) 16000 ppm.....	39
Gambar 4. 6. Model Kinetika Reaksi Menurut Persamaan <i>Ash Diffusion Control</i> .....	43
Gambar 4. 7. Model Kinetika <i>Two Constant Rate</i> .....	44

Gambar 4. 8. Orde Reaksi .....	45
Gambar 4. 9. Foto SEM pada Sampel Geopolimer Sebelum <i>Leaching</i> dengan Penambahan Logam Cd. (a) 1000 ppm, (b) 4000 ppm, (c) 8000 ppm, (d) 16000 ppm. ....	47
Gambar 4. 10. Sebaran Ion $Cd^{2+}$ pada Sampel Geopolimer Sebelum <i>Leaching</i> dengan Variasi Penambahan Logam Cd. (a) 1000 ppm, (b) 4000 ppm, (c) 8000 ppm, (d) 16000 ppm. ....	48
Gambar 4. 11. Foto SEM dari Sampel Geopolimer Setelah <i>Leaching</i> dengan Penambahan Logam Cd. (a) 1000 ppm, (b) 4000 ppm, (c) 8000 ppm, (d) 16000 ppm. ....	49
Gambar 4. 12. <i>Mapping Line</i> dari Geopolimer Setelah <i>Leaching</i> dengan Variasi Penambahan Logam Cd. (a) 1000 ppm, (b) 4000 ppm, (c) 8000 ppm, (d) 16000 ppm. ....	51
Gambar 4. 13. Sebaran Ion Logam $Cd^{2+}$ (a) Sebelum <i>Leaching</i> , (b) Setelah <i>Leaching</i> . ....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Mutu <i>waterglass</i> menurut SNI tahun 2015 (SNI, 2015).....	29
Tabel 4. 2. Hasil XRF Kandungan Senyawa dalam Abu Layang P.T IPMOMI (Supriadi, 2017). ....	31
Tabel 4. 3. Kuat Tekan Geopolimer Sebelum <i>Leaching</i> .....	33
Tabel 4. 4. Kuat Tekan Geopolimer Sebelum <i>Leaching</i> .....	35
Tabel 4. 5. Konsentrasi Ion $\text{Cd}^{2+}$ pada Larutan <i>Leaching</i> .....	38
Tabel 4. 6. Massa Ion $\text{Cd}^{2+}$ yang <i>Terleaching</i> .....	40
Tabel 4. 7. Persentase Logam Cd yang <i>Terleaching</i> .....	41

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Dewasa ini pencemaran lingkungan yang diakibatkan dengan bertambahnya konsentrasi gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan logam berat akhir-akhir ini sangat mengkhawatirkan, terutama pada daerah perkotaan yang padat penduduk. Pencemaran tersebut dapat berasal dari aktivitas rumah tangga, polusi yang diakibatkan oleh kendaraan, serta industri-industri seperti semen OPC yang pada proses pembuatannya akan menghasilkan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dimana produksi *Ordinary Portland Cement* (OPC) menyumbang sekitar 5-7% dari emisi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) global (Benhelal E dkk., 2013).

Industri tekstil, pertambangan serta metalurgi juga menyumbang pencemaran lingkungan terhadap logam berat, logam berat tersebut merupakan logam berat dari golongan transisi yang memiliki berat jenis lebih dari  $6 \text{ g/cm}^3$ , biasanya pencemaran logam berat tersebut dapat ditanggulangi dengan menggunakan resin penukar kation, mikroorganisme, solidifikasi/stabilisasi (Zheng dkk., 2014).

Abu layang merupakan limbah dari hasil pembakaran batubara, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan penyumbang limbah abu layang yang paling besar karena sumber energi yang digunakan berasal dari batubara. produksi global abu layang dari industri diperkirakan sebesar 800 juta ton/tahun pada tahun 2010 (Panias dkk., 2007).

Abu layang merupakan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang sangat tidak diperbolehkan dibuang sembarangan

sehingga harus mengalami proses pengolahan tertentu. Abu layang juga masih sedikit pemanfaatannya sehingga menyebabkan ketersediaan abu layang semakin meningkat, dan untuk mengatasi hal tersebut salah satunya adalah dengan memanfaatkan abu layang tersebut menjadi beton geopolimer (Nath, 2014).

Geopolimer merupakan suatu material yang dapat menggantikan semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) tanpa menghasilkan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dalam proses pembuatannya. Geopolimer adalah polimer anorganik yang tersusun dari aluminosilika yang teraktivasi dengan menggunakan basa pengaktif. Aluminosilika tersebut dapat diperoleh dari material seperti abu layang, kaolin, abu vulkanik, dan sebagainya (Davidovits, 1994).

Geopolimer dapat mempertahankan kekuatan mekaniknya walau dalam keadaan kondisi ekstrim seperti ketika kondisi lingkungan memiliki pH asam. Dengan sifat geopolimer yang seperti itu diharapkan geopolimer tersebut dapat meng amobilisasi logam berat Cd yang terbentuk dari limbah-limbah industri tersebut (Fernandez-Jimenez dkk., 2007)

Selain dapat mempertahankan kuat tekannya geopolimer juga dapat mengamobilisasi logam berat, salah satunya logam Cd yang akan terperangkap ke dalam jaringan geopolimer walaupun hal tersebut dapat mempengaruhi sifat mekanik dari beton geopolimer tersebut (van Jaarsveld dkk., 1999).

Amobilisasi logam berat pada geopolimer merupakan pemanfaatan geopolimer yang sangat potensial karena beton geopolimer dapat mempertahankan unsur logam berat yang terdapat didalamnya sehingga dapat mengurangi pencemaran



lingkungan. Amobilisasi logam berat pada geopolimer terjadi ketika kation logam berat terikat pada matriks geopolimer (Zhang dkk., 2008).

Didalam kemampuan geopolimer mengamobilisasi logam berat terdapat kinetika *leaching* dari ion logam berat yang terdapat dalam geopolimer. Kinetika *leaching* pada geopolimer mengetahui berapa efisiensi laju logam berat yang teramobilisasi pada geopolimer sebagai bahan bangunan yang dapat mempertahankan sifat mekaniknya dan mengurangi pencemaran logam berat ke lingkungan.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Kinetika *leaching* ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dalam geopolimer perlu diketahui untuk pengaplikasian geopolimer sebagai material pengganti bahan bangunan yang dapat bertahan dalam kondisi asam dan dalam jangka waktu yang panjang. Bagaimana model kinetika *leaching* ion logam berat  $\text{Cd}^{2+}$  dalam geopolimer abu layang PT. IPMOMI sehingga dapat diramalkan mekanisme serta efisiensi dari amobilisasi ion logam berat  $\text{Cd}^{2+}$

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Proses *leaching* logam berat yang terdapat pada geopolimer berbasis abu layang PT. IPMOMI perlu diketahui sehingga tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut. Bagaimana model kinetika *leaching* ion logam berat  $\text{Cd}^{2+}$  dalam geopolimer abu layang PT. IPMOMI sehingga dapat diramalkan mekanisme serta efisiensi dari amobilisasi ion logam berat  $\text{Cd}^{2+}$ .

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

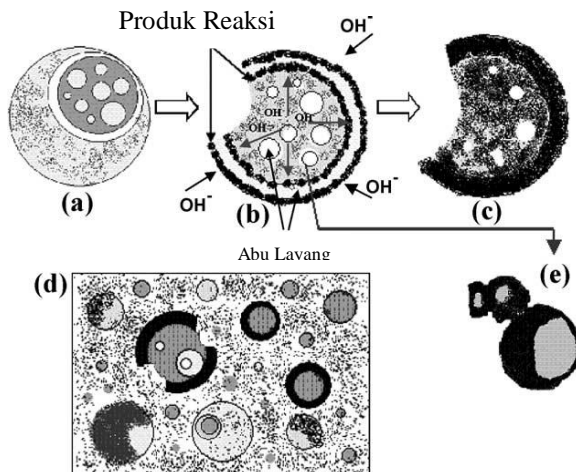
Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengganti bahan bangunan yang ramah lingkungan dan dapat mengimobilisasi logam berat Cd dan kinetika *leaching* dari ion logam Cd<sup>2+</sup> serta dapat mempertahankan sifat mekaniknya dalam kondisi lingkungan yang asam.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

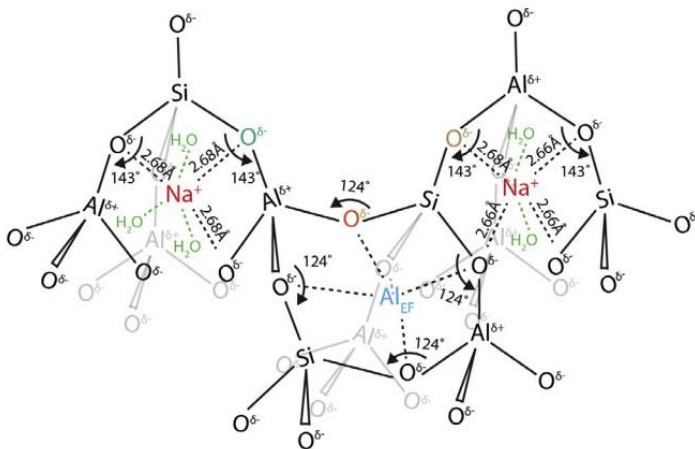
#### 2.1. Geopolimer

Davidovits pada tahun 1994 telah mendefinisikan istilah “geopolimer” untuk perekat tanpa semen yang sangat mirip dengan zeolite dan disintesis sebagai hasil dari beberapa reaksi yang berbeda antara larutan basa dan bahan baku aluminosilikat. Bahan-bahan tersebut dapat berasal dari sumber geologi (kaolinit, lempung, metakaolin, dll) atau limbah industri (seperti abu layang rendah kalsium, abu layang tinggi kalsium, debu silika (*silica fume*), *slag*, sekam padi, dll). Namun, bahan baku harus kaya silikon (Si) dan Aluminium (Al) (Davidovits, 1994).

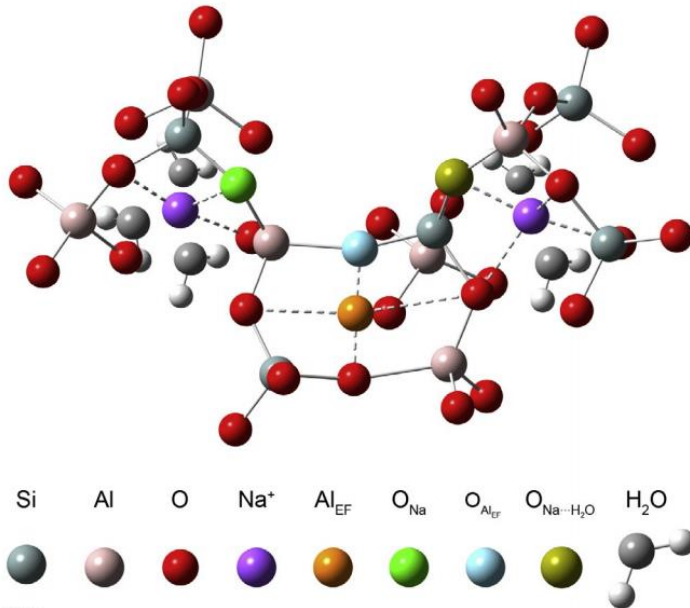


**Gambar 2. 1.** Model proses pembentukan geopolimer dari abu layang dalam larutan basa (Gambar dari Fernandez-Jimenez, dkk., 2005).

Geopolimer memiliki komposisi kimia menyerupai zeolit tetapi memiliki bentuk struktur 3 dimensi yang amorf sampai semi-kristal dengan jaringan polimerik Si-O-Al. Tetrahedral  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  secara alternatif berikatan dengan berbagi atom oksigen, dengan Al yang memiliki bilangan koordinasi 4. Hal tersebut akan membuat Al memiliki muatan negatif yang akan diseimbangkan oleh kation seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Kehadiran kation penyeimbang tersebut sangat penting untuk mempertahankan kenetralan struktur geopolimer. Secara terminologi, struktur dari geopolimer dapat dikategorikan menjadi 3 bentuk dasar geopolimer tergantung dari rasio Si/Al, yaitu *poly(sialate)*, *poly(sialate-siloxo)*, dan *poly(sialate-disiloxo)* (Davidovits, 1988).



**Gambar 2. 2.** Struktur Ikatan Si-O-Si dan Si-O Al pada Geopolimer (Nicolas dkk., 2017)



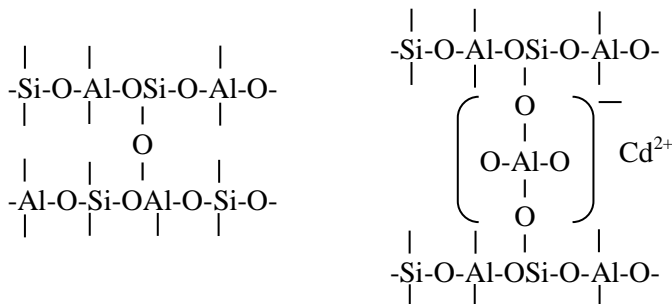
**Gambar 2. 3.** Struktur Geopolimer yang Digambarkan Secara 3 Dimensi (Nicolas dkk., 2017).

Dengan rasio Si/Al rendah sama dengan 1 terjadi reaksi kondensasi yang didominasi oleh aluminat dan silikat membentuk struktur polisialat. Ketika rasio Si/Al naik menjadi lebih dari 1 kondensasi cenderung terjadi antara silikat membentuk oligomer silikat. Oligomer silikat ini selanjutnya mengalami kondensasi dengan  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  membentuk jaringan poli(sialat silokso) dan poli(sialat disilokso).

Polisialat memiliki rumus empiris  $\text{M}_n(-(\text{SiO}_2)_z-\text{AlO}_2)_n \cdot w\text{H}_2\text{O}$  dengan  $z$  bernilai antara 1 sampai 35;  $M$  adalah

kation monovalen seperti  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  dan  $n$  adalah derajat polikondensasi (Davidovits, 1988).

Dua sialat dapat berikatan sehingga membentuk jembatan yang akan berhubungan sehingga membentuk jaringan silang atau (*cross-linking*) berupa rantai.



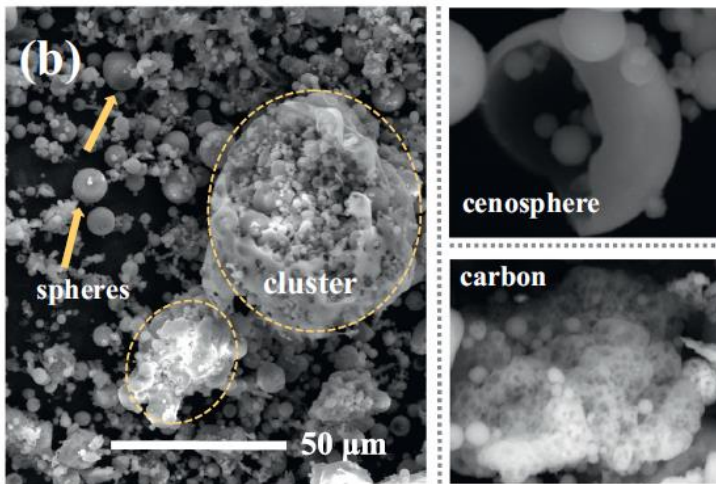
**Gambar 2. 4.** Struktur Jaringan Geopolimer

Gambar 2.4 menunjukkan jika struktur geopolimer ditambah dengan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$ , ion  $\text{Cd}^{2+}$  akan menjadi penyeimbang muatan geopolimer menggantikan ion  $\text{Na}^+$  pada jaringan geopolimer

## 2.2. Abu Layang

Abu layang awalnya digunakan dalam beton semen portland, tidak hanya sebagai pozzolan dan untuk meningkatkan *rheologi* tetapi juga untuk pengurangan reaksi alkali-agregat karena reaksi abu layang berjalan cepat di dalam semen. Kesamaan dari beberapa abu layang (adanya  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam abu) mendorong penggunaan abu layang untuk geopolimer sebagai solusi teknologi yang memungkinkan dalam membuat semen khusus (Davidovits, 1998).

Abu layang rendah kalsium dianggap sebagai bahan baku penting geopolimer di Australia karena ketersediaannya sangat luas (Nath, 2014). Telah dilaporkan bahwa geopolimer abu layang yang diperam dengan pemanasan mencapai kuat tekan yang sama seperti yang dari bahan perekat OPC pada beton normal (Chindaprasirt dkk., 2007) dengan daya tahan yang sangat baik (Fernandez dkk, 2007).



**Gambar 2. 5.** Hasil SEM abu layang (Tao, dkk., 2018)

### **2.3. Basa Aktivator**

Basa aktivator memiliki peranan yang sangat penting dalam pembuatan sintesis geopolimer yaitu sebagai pegaktif prekursor (sumber aluminosilikat) dengan melarutkan prekursor untuk membebaskan unit  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$  tetrahedral dan membuat spesi-spesi tersebut mengalami proses polikondensasi untuk membentuk geopolimer. Basa aktivator yang biasanya digunakan dalam sintesis geopolimer adalah

basa yang memiliki kation dari logam alkali yaitu natrium dan kalium. Untuk anion dari basa aktivator dapat berupa ion hidroksi dan juga silikat. Secara singkat, basa aktivator yang digunakan dalam sintesis geopolimer adalah alkali silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  atau  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ) atau alkali hidroksida ( $\text{NaOH}$  atau  $\text{KOH}$ ). (Davidovits, 1988).

#### **2.4. Buffer Asetat**

Buffer adalah larutan yang dapat mempertahankan pH ketika larutan tersebut ditambahkan zat asam atau basa. Terdapat dua jenis buffer yaitu buffer asam dan buffer basa, buffer asam terbentuk antara asam lemah dan basa konjugatnya dan buffer basa terbentuk dari basa lemah dan konjugatnya. Buffer asetat bisa terbuat dengan mencampurkan asam asetat dengan natrium asetat sehingga membentuk buffer asetat yang berkisar antara pH 3,76-5,76. Pembuatan Buffer asetat ini dilakukan dengan perbandingan mol dari asam asetat dan natrium asetat sebesar 1 : 1,8 supaya mencapai pH 4-5. (Gandjar dkk., 2007)

#### **2.5. Amobilisasi Logam Berat dalam Geopolimer**

Geopolimer dapat mengamobilisasi logam berat, amobilisasi logam berat adalah dimana geopolimer tersebut memiliki kemampuan untuk menahan material logam berat di dalam jaringan geopolimer sehingga logam berat tidak terlepas dari struktur geopolimer (van Jaarsveld dkk., 1999).

Logam berat yang di tambahkan ke dalam geopolimer tidak akan mengubah struktur dasar geopolimer yang terdiri atas dasar tetrahedral aluminosilikat, ion-ion tersebut akan menjadi penyeimbang muatan dalam jaringan geopolimer sehingga ion logam berat yang ditambahkan akan berikatan

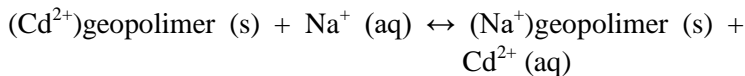


secara kovalen koordinasi pada jaringan geopolimer (van Jaarsveld dkk., 1999).

Ion Kadmium (Cd) telah beberapa kali dicoba untuk amobilisasi pada berbagai material. Amobilisasi dari ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dapat dilakukan pada kondisi berbagai pH. Dengan menggunakan material perekat geopolimer ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dapat *terleaching* pada suasana asam (Zhang dkk., 2008).

Amobilisasi logam berat pada geopolimer di uji dengan menggunakan tes *leaching*, dimana geopolimer yang telah ditambahkan logam berat direndam pada larutan yang memiliki pH tertentu, namun pengujian ini biasanya dilakukan pada material yang telah digiling dengan bentuk serbuk (Izquerdo dkk., 2008).

Reaksi geopolimer yang ditambahkan logam Cd pada proses *leaching* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6.

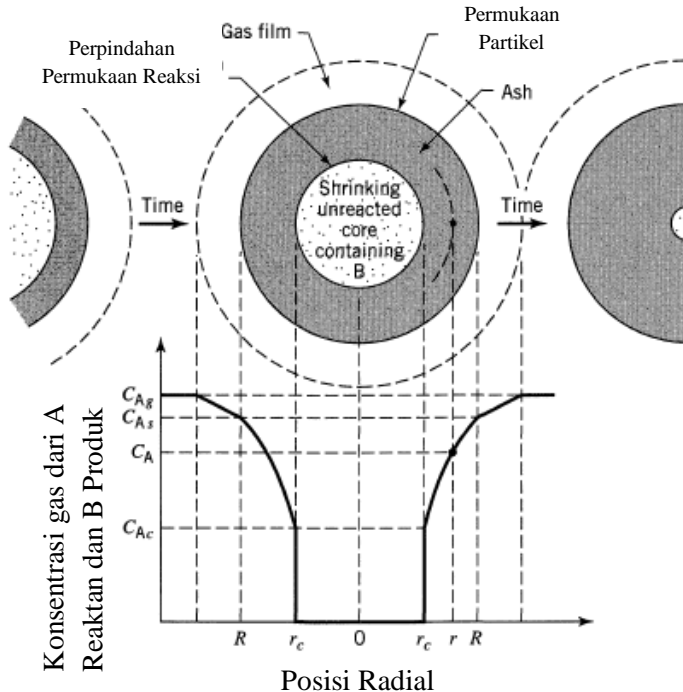


**Gambar 2. 6.** Reaksi Geopolimer Saat Mengalami Pertukaran Ion pada Proses *Leaching*

## **2.6. Kinetika Reaksi dari Proses *Leaching***

Kinetika reaksi dari proses *leaching* dapat ditentukan dengan menggunakan jika model kinetika dari proses *leaching* dapat di ketahui. Terdapat berbagai macam model kinetika dari proses *leaching* seperti yang di ungkapkan oleh Levenspiel (1999). Dimana Levenspiel menjelaskan bahwa terdapat reaksi antara padatan dengan cairan, reaksi ini terdiri dari beberapa benda yang di reaksi, dalam hal ini benda yang di reaksi adalah geopolimer dengan bentuk silinder. Levenspiel juga mengatakan bahwa benda uji berbentuk

silinder yang tidak berubah bentuk ketika terjadi reaksi memiliki tiga model kinetika reaksi terhadap reaktan cair yaitu dengan mengikuti persamaan 4.1, 4.22, dan 4.3.



**Gambar 2. 7.** Mekanisme *Leaching* pada Geopolimer

Gambar 2.7 menunjukkan mekanisme *leaching* dari berbagai macam model kinetika geopolimer, apakah larutan *peleaching* hanya mengenai permukaan dari geopolimer atau masuk menembus permukaan namun tidak sampai ketengah, atau seluruh geopolimer dapat ditembus oleh larutan *peleaching* sampai ketengah.

$$\frac{1}{\tau} = Xb \dots\dots\dots (4.1)$$

Persamaan 4.1 ini di sebut dengan model persamaan kinetika *Film Diffusion Control* ysnng artinya cairan hanya mengalami kontak dengan permukaan padatan geopolimer saja namun tidak masuk ke dalam beton geopolimer.

$$\frac{1}{\tau} = Xb + (1 - Xb)\ln(1 - Xb) \dots\dots\dots (4.2)$$

Persmaan 4.2 ini dinamakan dengan model persamaan kinetika *Ash Diffusion Control* yang artinya difusi partikel dari *buffer* asetat masuk kedalam sampel geopolimer namun tidak sampai mengenai pusat sampel.

$$\frac{1}{\tau} = 1 - (1 - Xb)^{1/2} \dots\dots\dots (4.3)$$

Persamaan 4.3 ini dinamakan dengan model persamaan kinetika *Reaction Control* dimana reaksi terjadi menyeluruh pada geopolimer.

Persamaan tersebut mengandung arti bahwa  $1/\tau$  adalah kt sehingga orde reaksi dapat dicari dari persamaan tersebut dan Xb merupakan fraksi logam yang berdifusi pada proses *leaching*.(Levenspiel, 1999).

## 2.7. AAS (Atomic Absorption Spectroscopy)

AAS atau *Atomic Absorbtion Spectroscopy* adalah suatu instrumen untuk mendeteksi kandungan suatu ion logam yang terdapat pada suatu sampel cair. Mekanisme penggunaan instrumen AAS adalah dengan membakar sampel yang terdapat kandungan ion logamnya, kemudian lampu dari instrumen yang akan menganalisa ion loogam berat tertentu

dilewatkan ke dalam api hasil pembakaran, sinar yang tidak di serap diteruskan dan diubah menjadi sinyal listrik yang terukur pada detektor.

Analisis kadar logam berat seperti Pb dan Cd dapat dilakukan dengan metode *Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (AAS). Pemilihan metode spektrometri serapan atom karena mempunyai sensitifitas tinggi, mudah, murah, sederhana, cepat, dan cuplikan yang dibutuhkan sedikit (Supriyanto dkk., 2007). Analisis menggunakan AAS juga lebih sensitif, spesifik untuk unsur yang ditentukan, dan dapat digunakan untuk penentuan kadar unsur yang konsentrasinya sangat kecil tanpa harus dipisahkan terlebih dahulu.

AAS merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya. Digunakan untuk analisis senyawa anorganik, atau logam (golongan alkali tanah unsur transisi). Spektrum yang diukur adalah pada daerah UV-Vis. Sampel yang diukur harus dalam bentuk larutan jernih. Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya.

Sampel diatomisasi dengan nyala maupun dengan tungku. Pada atomisasi temperatur harus benar-benar terkendali dengan sangat hati-hati agar proses atomisasinya sempurna. Biasanya temperatur dinaikkan secara bertahap, untuk menguapkan dan sekaligus mendisosiasikan senyawa yang dianalisis. Sumber radiasi harus bersifat sumber yang kontinyu. Analisis dengan AAS menganut hukum Lambert Beer untuk menyatakan hubungan antara absorbansi yang terukur dengan konsentrasi sampel (Supriyanto dkk., 2007).

## 2.8. XRD

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray diffraction/XRD*) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Suatu material dapat dipelajari kisi-kisi ruang dari intensitasnya secara cepat dan akurat dengan menggunakan difraksi sinar-X (Brindley dan Brown, 1980). Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Rontgent pada tahun 1895, ketika elektron yang dipercepat dengan tegangan yang tinggi dalam tabung vakum mengenai target yang berupa logam atau gelas, dan kemudian dihamburkan oleh target tersebut (Giancoli, 1984).

Prinsip terjadinya difraksi sinar-X sangat berbeda dengan difraksi yang dikenal pada umumnya (difraksi cahaya). Perbedaan tersebut dapat dilihat pada teori dan kegunaannya. Menurut Cullity (1978), sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 0,5-2,5 Å. Bila seberkas sinar-X dengan panjang gelombang  $\lambda$  di arahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang  $\theta$ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraktometer (Cullity, 1978). Sistem kerja difraktometer sinar-X didasarkan pada Hukum Bragg. Pola difraksi, intensitas dan sudut difraksi  $2\theta$  berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak intensitas diperoleh sebagai hasil proses difraksi dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal.

Metode difraksi sinar-X yakni seberkas sinar X jatuh pada kristal dengan sudut tertentu dan berkas-berkas itu akan berinterferensi konstruktif jika jarak ekstra yang ditempuh berkas 1 lebih besar dari berkas 2 sebesar kelipatan bilangan bulat  $\lambda$ . Jarak ekstra ini  $= 2d \sin \theta$ . Dengan demikian interferensi konstruktif akan terjadi, mengikuti persamaan Bragg yaitu  $2d \sin \theta = n \lambda$  (1) Sinar-X dapat didifraksikan dari bidang-bidang yang berbeda dengan sudut berbeda di dalam kristal (Giancolli, 1984).

## **2.9. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)**

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengamati dan menganalisis karakteristik mikrostruktur dari bahan padat seperti logam, keramik, polimer dan komposit. SEM memiliki resolusi (daya pisah) dan ketajaman gambar yang tinggi. Selain itu cara analisis SEM tidak akan merusak bahan. SEM mempunyai daya pisah sekitar 0,5 nm dengan perbesaran maksimum sekitar 500.000 kali.

Karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi sampel dalam berbagai bidang. Prinsipnya adalah sifat gelombang dari elektron yakni difraksi pada sudut yang sangat kecil. Elektron dapat didifraksikan oleh sampel yang bermuatan, untuk sampel nonkonduktor dilakukan pelapisan dengan karbon, emas atau paduan emas, yang berfungsi untuk mengalirkan muatan elektron berlebih pada sampel ke ground .

Pola yang terbentuk menggambarkan struktur dari sampel. Kelebihan mikroskop elektron ini mempunyai daya pisah (resolusi) yang sangat tinggi dan penggunaan berkas

elektron dengan panjang gelombang yang pendek (Griffin dan Riessen, 1991).

## **2.10. *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX)***

Energy Dispersive X-ray (EDX) Spectroscopy merupakan analisis yang digunakan untuk analisis unsur atau karakterisasi kimia suatu sampel. EDX juga digunakan untuk mikroanalisis komposisi kimia yang dihubungkan dengan SEM yang canggih untuk mendapatkan penggambaran dengan resolusi tinggi, analisis unsur semi-kuantitatif, dan peta unsur X-ray kualitatif untuk menyelidiki bentuk struktur dan komposisi dari struktur yang berbeda (Chang, 2014)

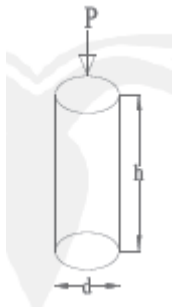
Ketika sinar elektron mengenai sampel, ada kemungkinan tinggi bahwa sinar-X akan dihasilkan. Sehingga, menyebabkan sinar-X melepaskan sampel dan mengenai detektor dimana menimbulkan *pulse* muatan pada detektor. Arus berumur pendek ini kemudian dikonversi kedalam *pulse* tegangan dengan merefleksikan *amplitude* energi dari sinar-X yang terdeteksi. Hingga akhirnya, *pulse* tegangan ini dikonversikan menjadi sinyal digital dan satu perhitungan lagi dihubungkan untuk ditambahkan ke saluran energi yang sesuai. Ketika pengukuran telah lengkap, akumulasi jumlah menghasilkan suatu jenis spektra sinar-X dengan puncak utama tertindih pada background (Heath, 2015)

## **2.11. Uji Kuat Tekan Beton**

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin

tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300mm dan diameter 150mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tinggi ( $f_c'$ ) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo dan Istimawan, 1996)



**Gambar 2. 8.** Benda Uji Silinder.

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan dilaboratorium dapat di tunjukkan pada persamaan 2.4.

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$



Dimana:  $f_c'$  = kuat tekan (MPa)  
P = Beban tekan (N)  
A = luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo dan Istimawan, 1996).

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Alat dan Bahan**

##### **3.1.1. Alat**

Peralatan yang digunakan pada percobaan ini adalah wadah plastik, gelas plastik, labu ukur 50 dan 1000 ml, erlenmeyer 250 ml, pipet volume 10 ml, pipet tetes, botol timbang, gelas beaker 100 ml, kertas saring *whatman* No. 41, gelas beaker 250 ml, buret, cawan porselen, *furnace*, *crusible*, loyang aluminium, aluminium foil, plastik *wrap*, kertas pH universal, plastik klip, pengaduk kaca, pengaduk besi, pengaduk plastik, *mixer*, cetakan dengan diameter 2 cm dan tinggi 4 cm. Instrumen analisis yang digunakan untuk analisis karakterisasi adalah alat uji tekan (*universal testing machine*) di laboratorium beton Departemen D3 Teknik Infrastruktur Sipil ITS, *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Carl Zeiss Evo MA 10 di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

##### **3.1.2. Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *waterglass* teknis dari UD Bratachem, HCl 37%, indikator Metil Orange 0,1%, abu layang dari PT. IPMOMI, NaOH 99%,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  99%,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , aqua DM, etanol teknis 95%, asam asetat glasial 99%, natrium asetat 99% dan vaselin.

### 3.2. Prosedur Kerja

#### 3.2.1. Analisa Komponen Penyusun *Waterglass*

*Waterglass* teknis atau yang disebut natrium silikat mempunyai rumus senyawa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , dianalisis menggunakan SNI 0127:2015 dari Badan Standardisasi Nasional. Dalam hal ini, parameter yang diuji meliputi warna, kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  serta kandungan  $\text{SiO}_2$  yang merupakan bahan penting dalam pembentukan geopolimer.

Analisa kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  dari *waterglass* diawali dengan mengambil sampel sebanyak 200-400 mg kemudian ditambahkan dengan aqua DM sebanyak 50 ml dan 2 tetes indikator metil orange (MO) di dalam erlenmeyer. Larutan tersebut selanjutnya dititrasi dengan HCl 0,1 N hingga terjadi perubahan warna dari kuning menjadi jingga dan dihitung volume yang diperlukan dalam titrasi tersebut.  $\% \text{Na}_2\text{O}$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$\% \text{Na}_2\text{O} = \frac{V \times N \times 3,1}{w} \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana: V adalah volume titrasi (ml)

N adalah normalitas HCl

W adalah berat sampel yang diuji

3,1 adalah berat ekuivalen dari  $\text{Na}_2\text{O}$

Analisa kandungan  $\text{SiO}_2$  dari *waterglass* dimulai dengan pembuatan larutan dari HCl pekat dengan aqua DM dengan perbandingan volume 1:1, 1:4, dan (1:10). Selanjutnya, 1-2 g larutan *waterglass* dimasukkan ke dalam ke dalam cawan porselen, lalu ditambahkan 50 ml aqua DM panas dan 5 ml HCl 37% kemudian dipanaskan diatas penangas sampai larutan hampir kering. Setelah kering,

ditambahkan larutan HCl (1:1) pada cawan porselen tersebut dan diuapkan lagi sampai hampir kering, lalu residu tersebut dikeringkan di dalam oven dengan suhu 110°C selama 1 jam kemudian didinginkan ke suhu kamar lalu ditambah HCl (1:4) sebanyak 50 ml sambil dipanaskan di dalam penangas selama 10 menit dan di saring menggunakan kertas saring *Whatman* No. 41. Residu yang tertinggal kemudian dicuci menggunakan HCl (1:10) dan aqua DM panas. Prosedur pencucian diulangi sampai 3 kali. Residu yang dihasilkan dari proses pencucian tersebut kemudian dimasukkan ke dalam krusibel dan dimasukkan ke dalam *Furnace* dengan suhu 950 °C. Persentase SiO<sub>2</sub> dapat dihitung dengan rumus sesuai dengan persamaan 3.2.

$$\%SiO_2 = \frac{C}{W} \times 100\% \dots\dots\dots 3.2$$

di mana: C adalah berat sampel setelah keluar dari *furnace* dan W adalah berat awal sampel (SNI, 2015).

### **3.2.2. Preparasi Abu Layang**

Preparasi abu layang dilakukan dengan cara mengayak abu layang dari PT. IPMOMI dengan ayakan 120 mesh dilanjutkan dengan pemanasan di dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam. Abu layang yang telah dipanaskan selama 24 jam tersebut selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan Difraktometer Sinar-X (XRD) dan XRF (*X-ray fluorescence*).

Sebelum digunakan dalam pembuatan geopolimer untuk pengujian imobilisasi ion logam berat, abu layang PT. IPMOMI ditambahi dengan limbah buatan yaitu larutan

$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Larutan ini dibuat dengan melarutkan sejumlah tertentu  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  untuk mendapatkan konsentrasi yang dikehendaki ke dalam aqua DM. Larutan  $\text{Cd}^{2+}$  yang terbentuk tersebut selanjutnya dicampur dengan 260 g abu layang, kemudian diaduk dengan menggunakan *mixer* sampai campuran homogen. Campuran yang terbentuk kemudian dikeringkan di dalam oven dengan suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Variasi konsentrasi Cd di dalam abu layang adalah sebesar 1000, 4000, 8000, dan 16000 ppm.

### **3.2.3. Pembuatan Basa Pengaktif**

Larutan basa pengaktif atau basa aktivator merupakan larutan yang digunakan untuk membentuk ikatan geopolimer. Larutan ini di buat dari campuran larutan NaOH dan *waterglass* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan melarutkan 28 g NaOH padat ke dalam sedikit aqua DM di dalam gelas plastik kemudian di tunggu hingga dingin, setelah itu larutan tersebut diencerkan dalam labu ukur 50 ml dan dituangkan kembali ke dalam gelas plastik. Setelah didiamkan selama 24 jam, larutan NaOH dicampurkan dengan 80 g *waterglass* dan diaduk hingga homogen kemudian didiamkan hingga larutan tersebut dingin.

### **3.2.4. Persiapan Cetakan Geopolimer**

Cetakan geopolimer dibuat dari PVC berbentuk silinder dengan diameter 2,05 dan tinggi yang telah 4,1 cm dengan bagian bawah yang di tutup dengan plastik wrap yang telah diikat dengan karet gelang supaya spesimen geopolimer tersebut tidak tumpah dan tetap berada dalam cetakan. Kemudian cetakan diolesi dengan vaselin secara merata

supaya geopolimer yang telah mengeras dapat dikeluarkan dari cetakan.

### 3.2.5. Pembuatan Spesimen Geopolimer

Pembuatan spesimen geopolimer menggunakan komposisi bahan sebagai berikut.

- Rasio S/L = 4,10
- Rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  = 6,80
- Rasio  $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  = 0,23
- Rasio  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  = 1,59
- Rasio  $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  = 7,80

Proses pembuatan geopolimer diawali dengan menyiapkan bahan-bahan yang akan dicampurkan ke dalam komposisi bahan geopolimer. Pembuatan larutan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dengan cara mencampurkan 3,4 gram  $\text{Al}(\text{OH})_3$  padat ke dalam 24,5 mL aqua DM kemudian dicampurkan kedalam abu layang sebanyak 260 gram dengan menggunakan wadah plastik dan diaduk menggunakan *mixer* sampai homogen. Setelah campuran abu layang dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  selesai dicampur kemudian campuran tersebut dimasukkan larutan pengaktif dan diaduk selama 4 menit, setelah selesai proses pengadukan pasta geopolimer tersebut di cetak ke dalam cetakan silinder dan diketok-ketok sampai gelembung udara keluar serta di ratakan permukaannya dengan menggunakan spatula besi dan di tutup permukaannya dengan plastik wrap, pasta geopolimer di dalam cetakan tersebut di biarkan mengeras selama 24 jam kemudian di keluarkan dari cetakan.

Setelah spesimen geopolimer keluar dari cetakan, spesimen tersebut di bersihkan dari vaselin yang menempel dengan menggunakan lap atau tisu, kemudian di masukkan ke dalam plastik klip dan di oven dengan suhu 55°C selama 24 jam, setelah dioven selama 24 jam spesimen geopolimer tersebut *dicuring* pada udara terbuka selama 1 minggu kemudian di rendam ke dalam etanol teknis 95% selama 24 jam supaya reaksi geopolimerisasi dapat dihentikan dan spesimen geopolimer yang berusia 7 hari tersebut di lakukan uji kuat tekan (Supriadi, 2017).

### **3.2.6. Pembuatan Larutan *Buffer* pH 5**

Pembuatan larutan *buffer* pH 5 dilakukan dengan cara mencampurkan asam asetat dengan natrium asetat sehingga terbentuk *buffer* asetat dengan range pH 4-5. Asam asetat glasial 99% diambil sebanyak 57,2 mL dan dilarutkan kedalam labu ukur 1000 mL (pengenceran asam asetat). Natrium asetat ditimbang sebanyak 147,6 gram kemudian dilarutkan ke dalam labu ukur 1000 mL (pengenceran asam asetat). Kemudian larutan asam asetat dan natrium asetat tersebut dicampur ke dalam wadah plastik untuk proses *leaching* kemudian diukur pHnya dengan kertas pH universal.

### **3.2.7. *Leaching* logam Berat dalam Geopolimer**

*Leaching* logam berat dalam geopolimer dilakukan dengan cara ditimbang terlebih dahulu geopolimer yang akan *dileaching*. Setelah berat dari geopolimer tersebut diketahui selanjutnya geopolimer tersebut dimasukkan ke dalam larutan etanol teknis 95% untuk menghentikan reaksi geopolimerisasi selama 24 jam (Chen dkk., 2014). Setelah itu geopolimer dimasukkan kedalam *buffer* asetat yang telah di buat



sebelumnya dan di filter menggunakan filter aquarium supaya seperti di aduk.

Dari larutan tersebut diambil sebanyak 10 mL setiap 6 jam sekali dan diukur pHnya dengan menggunakan kertas pH universal. Pengambilan sampel ini berlangsung selama 7 hari secara dinamis.

Larutan hasil *leaching* ini kemudian di analisis menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dan geopolimer setelah mengalami proses *leaching* tersebut kembali di uji kuat tekan.

### **3.3. Karakterisasi**

#### **3.3.1. Sifat Mekanik**

Sifat ekanik geopolimer ditentukan dengan pengujian kuat tekan, geopolimer yang telah selesai *curing* dalam usia 7 hari di amplas untuk meratakan permukaan geopolimer, ukuran geopolimer disesuaikan dengan diameter 2,1 cm dan tinggi 4,2 cm, setelah ukuran sesuai dengan standar beton geopolimer diuji menggunakan *universal testing machine* pada Laboratorium Beton Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS. Beban yang diberikan pada pengujian geopolimer ini dalam satuan Newton yang kemudian dikonversi dalam satuan MPa.

#### **3.3.2. Analisa Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)**

Analisa AAS dilakukan setelah pengambilan larutan yang selesai mengalami proses *leaching* dan di asamkan menggunakan  $\text{HNO}_3$  pekat sebanyak 1 tetes dan kemudian dianalisa menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* pada Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Surabaya.

### **3.3.3. Analisa SEM-EDX**

Semua sampel dengan variasi penambahan logam Cd 1000 ppm, 4000 ppm, 8000 ppm, dan 16000 ppm dianalisa dengan menggunakan SEM-EDX sesudah dan sebelum mengalami proses *leaching* untuk mengetahui persebaran ion logam Cd pada beton geopolimer tersebut.

Beton geopolimer di haluskan permukaannya dengan menggunakan amplas kemudian di resin dan ditunggu selama 24 jam sampai resin mengeras. Setelah resin mengeras geopolimer di amplas lagi dengan amplas yang lebih halus.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa *Waterglass*

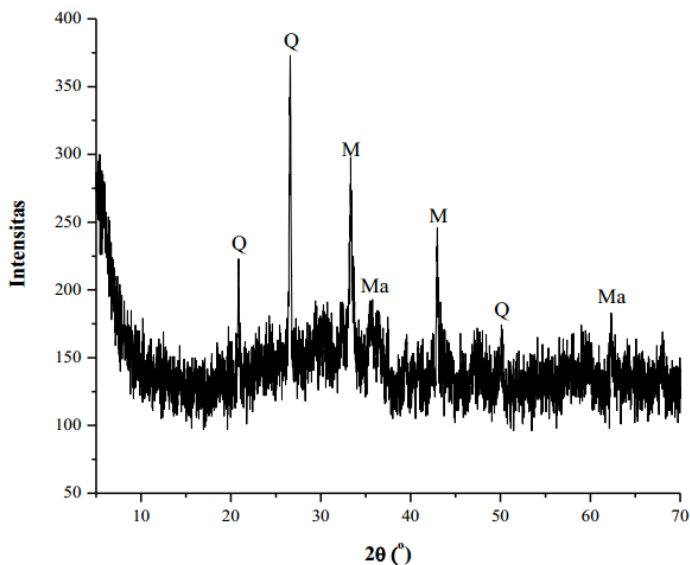
Analisa *waterglass* dilakukan dengan menggunakan metode SNI tahun 2015, pada analisa *waterglass* ini yang di uji adalah kandungan dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Pada analisa *waterglass* ini didapatkan hasil kandungan dari  $\text{SiO}_2$  adalah sebesar 28,69%,  $\text{Na}_2\text{O}$  sebesar 19,25% dan kandungan  $\text{H}_2\text{O}$  sebesar 28,94% dan warna dari *waterglass* adalah putih keabu-abuan. Dari analisa kandungan  $\text{SiO}_2$  ini dapat diketahui bahwa *waterglass* tersebut bertipe 2 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1.** Mutu *waterglass* menurut SNI tahun 2015 (SNI, 2015)

No	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan			
			Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4
1	Warna	-	Jernih sampai putih keabu-abuan			
2	$\text{Na}_2\text{O}$	%	8,3-9,9	10,7-12,9	13,4-15,9	15,3-17,9
3	$\text{SiO}_2$	%	26,4-30,7	23,4-28,1	29,6-34,6	33,4-39,6
4	Derajat Baume	°Be	39-43	41-44	50-53	56-59
5	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Mg/kg	Maks 150	Maks 150	Maks 150	Maks 200
6	Bagian Tidak Larut	%	Maks 0,015	Maks 0,015	Maks 0,015	Maks 0,02

## 4.2. Preparasi Abu Layang

Preparasi abu layang dilakukan dengan cara mengayak abu layang dari P.T IPMOMI dengan ayakan 120 mesh kemudian di oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam guna menghilangkan kandungan  $\text{H}_2\text{O}$  pada abu layang sebagai bahan utama pembentukan geopolimer. Abu layang yang sudah kering kemudian di analisis menggunakan XRD dan XRF untuk menentukan fasa dari abu layang tersebut. Fasa dari abu layang ini digunakan untuk mengetahui seberapa mudah abu layang bereaksi membentuk jaringan geopolimer, fasa yang mudah bereaksi adalah fasa amorf dan fasa kristalin sukar untuk bereaksi. Hasil dari analisa XRD dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4. 1.** Grafik XRD dari Abu Layang P.T IPMOMI sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer (Supriadi, 2017)

**Tabel 4. 2.** Hasil XRF Kandungan Senyawa dalam Abu Layang P.T IPMOMI (Supriadi, 2017).

No	Senyawa	Kandungan (%)	Metode analisis
1	SiO <sub>2</sub>	50,67	XRF
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,76	XRF
3	CaO	12,70	XRF
4	MgO	6,26	XRF
5	Na <sub>2</sub> O	0,19	XRF
6	K <sub>2</sub> O	1,28	XRF
7	TiO <sub>2</sub>	0,76	XRF
8	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,99	XRF
9	MnO <sub>2</sub>	0,14	XRF
10	S <sub>2</sub> O	0,63	XRF
11	Se <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	XRF
12	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	XRF
12	Ignition loss	1,42	XRF
13	Total	100 %	
(SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		76,42	

Pada Gambar 4.1. dapat diketahui bahwa terdapat tiga puncak yaitu *quartz* (Q), *mullite* (M), dan *magnetite* (Me). Pada range antara 20°-40° terdapat adanya gundukan yang biasanya adalah fase amorf dari abu layang sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer (Downs dkk., 2006).

Selain dilakukan analisa XRD, juga dilakukan analisa XRF untuk mengetahui kandungan senyawa dari abu layang

P.T IPMOMI sehingga dapat ditentukan rasio Si/Al pada geopolimer yang akan disintesis. Hasil dari XRF abu layang P.T IPMOMI dikatakan memiliki tipe kelas F oleh ASTM C 618 karena memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebanyak 76,42 % dan  $\text{CaO}$  12,70 %. Hasil analisa abu layang menggunakan instrumen XRF dapat dilihat pada Tabel 4.2.

#### **4.3. Sifat Mekanik Geopolimer**

Sifat mekanik geopolimer yang telah disintesis dan di peram selama 7 hari diuji dengan menggunakan alat uji kuat tekan *universal testing machine* pada Laboratorium Beton Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS. Pengujian sifat mekanik ini dilakukan pada geopolimer sebelum *leaching* dan geopolimer setelah *leaching* guna mengetahui perubahan sifat mekanik yang dipengaruhi oleh proses *leaching*.

Pada pengujian sifat mekanik sebelum leaching diuji dengan pengulangan 4 kali untuk memastikan bahwa pengujian tersebut sudah presisi dengan kuat tekan dari beton geopolimer yang diperoleh. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa penambahan logam Cd dengan konsentrasi 1000 ppm memperoleh hasil kuat tekan tertinggi dengan 24,28 MPa, sedangkan untuk penambahan konsentrasi logam Cd 4000, 8000, 16000 ppm menyebabkan penurunan kuat tekan, hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya dari van Jaarsveld yang mengatakan bahwa penambahan logam berat yang melebihi batas maksimum akan menyebabkan penurunan kuat tekan dikarenakan adanya perubahan struktur dari geopolimer (van Jaarsveld, 1999). Walaupun penambahan logam dengan batas konsentrasi tertentu juga dapat meningkatkan kuat

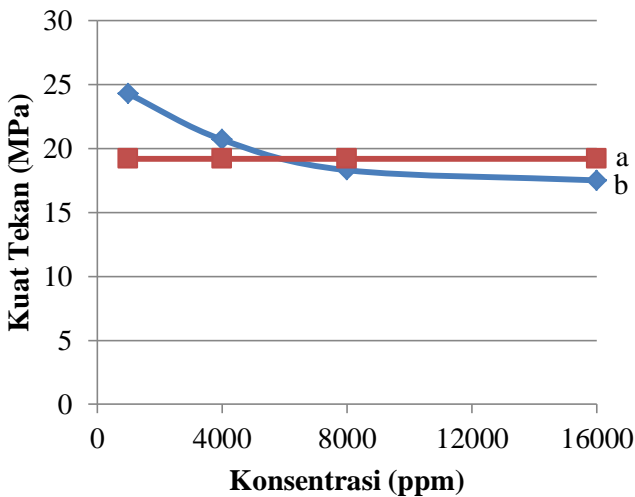
tekannya (Fernandez-Jimenez dkk., 2005). Data uji kuat tekan geopolimer dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4. 3.** Kuat Tekan Geopolimer Sebelum *Leaching*

Pengulangan Ke	Konsentrasi (ppm)			
	1000	4000	8000	16000
<b>1</b>	22,29	17,52	17,52	19,11
<b>2</b>	22,29	25,48	17,52	15,92
<b>3</b>	25,48	19,11	20,70	17,52
<b>4</b>	27,07	20,70	17,52	17,52
<b>MPa</b>	24,28	20,70	18,31	17,52

Hasil uji kuat tekan geopolimer sebelum mengalami proses *leaching* untuk penambahan konsentrasi logam Cd sebesar 1000 dan 4000 ppm memiliki kuat tekan lebih besar di bandingkan geopolimer yang tidak di tambahkan logam Cd yang memiliki kuat tekan sebesar 19,2 MPa (Supriadi, 2017). Hubungan antara konsentrasi logam Cd yang di tambahkan dengan hasil kuat tekan yang di peroleh dari penambahan logam Cd dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Sedangkan hasil kuat tekan setelah proses *leaching* mengalami penurunan dari semua variasi konsentrasi logam berat yang di tunjukkan pada Tabel 4.4.



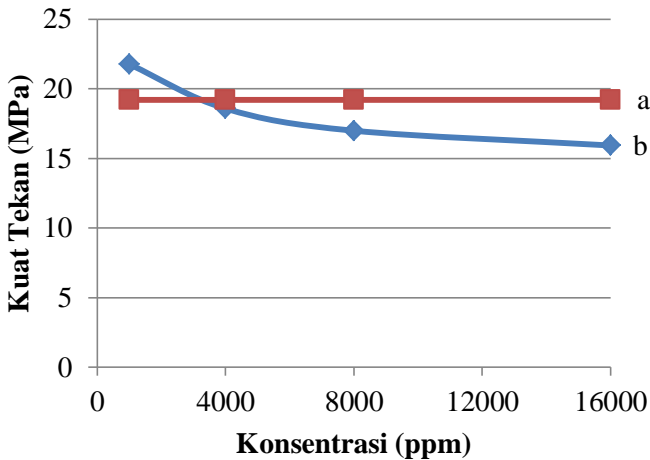
**Gambar 4. 2.** Kuat Tekan Geopolimer Sebelum Proses *Leaching* (a) Tanpa Penambahan Logam Cd (b) dengan Penambahan Logam Cd

Pada hasil pengujian kuat tekan setelah *leaching* di dapatkan bahwa geopolimer dengan penambahan konsentrasi logam Cd 1000 ppm masih di atas dari kuat tekan geopolimer standar tanpa penambahan logam berat sedangkan yang lain dibawah kuat tekan geopolimer standar (Supriadi, 2017). Hubungan antara konsentrasi logam berat yang ditambahkan dengan kuat tekan geopolimer ditunjukkan pada gambar 4.3, serta perbandingan hasil kuat tekan sebelum *leaching* dan setelah *leaching* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

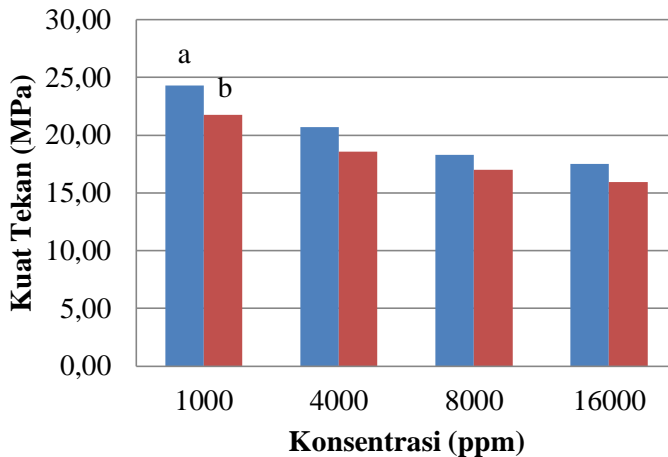


**Tabel 4. 4.** Kuat Tekan Geopolimer Sebelum *Leaching*

Sampel	Konsentrasi (ppm)			
	1000	4000	8000	16000
1	22,29	19,11	15,92	15,92
2	20,70	17,52	19,11	15,92
3	22,29	19,11	15,92	15,92
MPa	21,76	18,58	16,99	15,92



**Gambar 4. 3.** Kuat Tekan Geopolimer Setelah Proses *Leaching*(a) Tanpa Penambahan Logam Cd (b) dengan Penambahan Logam Cd



**Gambar 4. 4.** Perbandingan Kuat Tekan (a) Sebelum *Leaching* (b) Setelah *Leaching*

Dari hasil pengujian kuat tekan dapat di lihat terjadi peurunan kuat tekan pada pengujian setelah mengalami proses *leaching* dan sebelum mengalami proses *leaching* dengan seiring bertambahkan logam berat yang di tambahkan pada beton geopolimer yang disintesis. Dapat dilihat juga perbandingan kuat tekan pada sebelum dan sesudah mengalami proses *leaching*, setelah pengujian *leaching* geopolimer mengalami penurunan kuat tekan di banding dengan geopolimer yang tidak mengalami proses *leaching*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Deja (2002) bahwa penambahan ion logam  $Cd^{2+}$  akan menghasilkan mikrostruktur yang berbeda yang kemungkinan hal tersebut mempengaruhi hasil kuat tekan dari berbagai variasi logam Cd yang di tambahkan pada beton geopolimer (Deja, 2002).

#### 4.4. Amobilisasi Ion Logam Berat $\text{Cd}^{2+}$

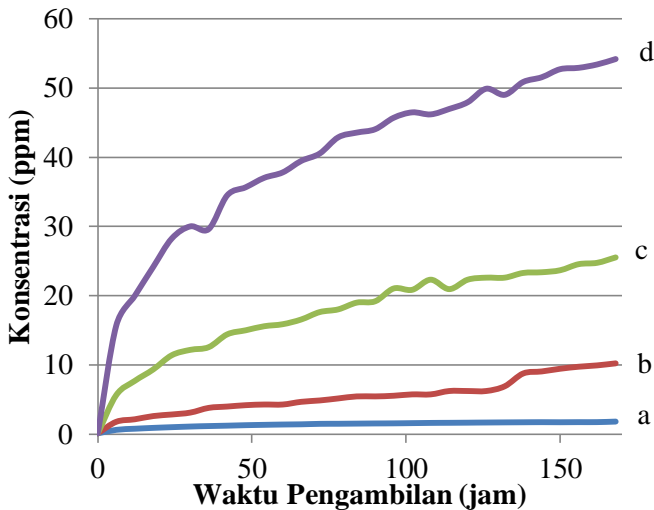
Amobilisasi logam berat Cd yang terdapat pada geopolimer dilakukan dengan merendam geopolimer pada *buffer* asetat dengan pH 5. Tujuan menggunakan *buffer* adalah untuk menjaga pH agar tetap pada pH 5 karena dalam pembuatan geopolimer menggunakan senyawa NaOH yang bersifat basa kuat sehingga larutan *buffer* sangat di butuhkan agar kondisi asam dengan pH 5 dapat dijaga.

Pengujian *leaching* ini bertujuan untuk mengetahui seberapa kuat geopolimer tersebut mengamobilisasi ion logam berat yang terdapat di dalam jaringan geopolimer. Ion logam berat Cd telah dilakukan amobilisasi sebelumnya oleh Zhang dkk. (2008) dan di dapatkan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  akan *terleaching* pada suasana asam (Zhang dkk.,2008). Hal ini sesuai dengan percobaan yang telah dilakukan bahwa ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  *terleaching* pada kondisi asam dengan pH 5. Hasil pengujian sampel ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Dari hasil pengujian *leaching* didapatkan semakin lama waktu perendaman beton geopolimer pada *buffer* asetat menghasilkan konsentrasi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang *terleaching* semakin bertambah banyak dan juga semakin banyak logam Cd yang ditambahkan menghasilkan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang *terleaching* semakin banyak. Hubungan antara waktu pengambilan sampel *buffer* asetat bekas perendaman geopolimer dengan konsentrasi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang *terleaching* dapat dilihat pada Gambar 4.5.

**Tabel 4. 5.** Konsentrasi Ion  $\text{Cd}^{2+}$  pada Larutan *Leaching*

<b>Waktu Pengambilan (jam)</b>	<b>Konsentrasi (ppm)</b>			
	<b>1000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>	<b>16000</b>
6	0,63	1,79	5,65	15,69
12	0,79	2,15	7,70	19,98
18	0,91	2,62	9,36	24,17
24	1,01	2,85	11,40	28,27
30	1,11	3,12	12,18	30,02
36	1,18	3,80	12,57	29,63
42	1,23	4,00	14,43	34,50
48	1,30	4,19	15,01	35,67
54	1,35	4,29	15,60	37,04
60	1,40	4,29	15,89	37,82
66	1,43	4,68	16,57	39,48
72	1,49	4,87	17,64	40,55
78	1,51	5,17	18,03	42,89
84	1,53	5,46	19,01	43,57
90	1,55	5,46	19,20	44,06
96	1,57	5,56	21,05	45,71
102	1,60	5,75	20,86	46,49
108	1,63	5,75	22,32	46,20
114	1,65	6,24	20,96	46,98
120	1,66	6,24	22,32	47,96
126	1,69	6,24	22,61	49,90
132	1,71	6,92	22,61	49,03
138	1,72	8,77	23,30	50,88
144	1,74	9,06	23,39	51,56
150	1,73	9,45	23,69	52,73
156	1,74	9,75	24,56	52,93
162	1,74	9,94	24,76	53,41
168	1,82	10,23	25,54	54,19



**Gambar 4. 5.** Hubungan Waktu Pengambilan Sampel dengan Konsentrasi Ion Logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang *Terleaching* (a) 1000 ppm (b) 4000 ppm (c) 8000 ppm (d) 16000 ppm

Hasil pengujian AAS dapat juga di ketahui berapa massa logam Cd yang telah *terleaching* dari beton geopolimer yang direndam pada *buffer* asetat. Massa ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang *terleaching* ini dapat digunakan untuk mengetahui berapa efisiensi dari geopolimer yang berbasis abu layang PT. IPMOMI dalam mengamobilisasi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  sehingga dapat diaplikasikan untuk pembuatan bahan bangunan yang memiliki kekuatan mekanik yang sesuai dan dapat menjaga lingkungan dari pencemaran dari logam berat. Massa logam Cd yang *terleaching* dapat dilihat pada Tabel 4.6. Dan penghitungan prosentase ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang *terleaching* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4. 6.** Massa Ion  $\text{Cd}^{2+}$  yang *Terleaching*

<b>Waktu Pengambilan (jam)</b>	<b>Konsentrasi (mg)</b>			
	<b>1000 ppm</b>	<b>4000 ppm</b>	<b>8000 ppm</b>	<b>16000 ppm</b>
6	1,25	3,57	11,25	31,23
12	1,56	4,27	15,25	39,56
18	1,80	5,16	18,43	47,62
24	1,98	5,58	22,35	55,40
30	2,16	6,08	23,76	58,54
36	2,28	7,37	24,39	57,48
42	2,38	7,71	27,84	66,59
48	2,50	8,05	28,82	68,49
54	2,58	8,19	29,79	70,74
60	2,66	8,15	30,19	71,85
66	2,70	8,84	31,32	74,61
72	2,81	9,16	33,17	76,23
78	2,82	9,66	33,72	80,20
84	2,84	10,15	35,35	81,04
90	2,87	10,10	35,52	81,50
96	2,89	10,22	38,74	84,11
102	2,92	10,52	38,17	85,08
108	2,96	10,47	40,62	84,09
114	2,98	11,29	37,93	85,03
120	2,99	11,23	40,18	86,32
126	3,02	11,17	40,48	89,33
132	3,04	12,32	40,25	87,27
138	3,05	15,53	41,23	90,06
144	3,06	15,95	41,17	90,75
150	3,02	16,55	41,45	92,28
156	3,03	16,96	42,74	92,09
162	3,02	17,20	42,83	92,41
168	3,13	17,60	43,92	93,21

**Tabel 4. 7.** Persentase Logam Cd yang *Terleaching*

No	Konsentrasi (ppm)	% <i>Terleaching</i>
1	1000	4,46
2	4000	6,58
3	8000	8,18
4	16000	8,97

#### 4.5. Kinetika *Leaching* Ion Logam Cd<sup>2+</sup> pada Geopolimer Berbasis Abu Layang PT. IPMOMI

Kinetika *leaching* dari ion logam Cd<sup>2+</sup> dapat diketahui dengan cara menentukan kecenderungan ion logam Cd<sup>2+</sup> pada model kinetiknya dulu kemudian dapat di tentukan persamaannya untuk mengetahui orde reaksinya. Model kinetika reaksi sangat beragam macamnya , dalam penelitian ini diuji dengan model kinetika reaksi menurut Levenspiel (1999) dimana Levenspiel menjelaskan bahwa terdapat reaksi antara padatan dengan cairan, reaksi ini terdiri dari beberapa benda yang di reaksikan, dalam hal ini benda yang di reaksikan adalah geopolimer dengan bentuk silinder. Levenspiel juga mengatakan bahwa benda uji berbentuk silinder yang tidak berubah bentuk ketika terjadi reaksi memiliki tiga model kinetika reaksi terhadap reaktan cair yaitu dengan mengikuti persamaan 4.1, 4.2, dan 4.3.

$$\frac{1}{\tau} = Xb..... \quad (4.1)$$

Persamaan 4.1 ini di sebut dengan model persamaan kinetika *Film Diffusion Control* ysng artinya cairan hanya

mengalami kontak dengan permukaan padatan geopolimer saja namun tidak masuk ke dalam beton geopolimer.

$$\frac{1}{\tau} = Xb + (1 - Xb)\ln(1 - Xb)..... (4.2)$$

Persmaan 4.2 ini dinamakan dengan model persamaan kinetika *Ash Diffusion Control* yang artinya difusi partikel dari *buffer* asetat masuk kedalam sampel geopolimer namun tidak sampai mengenai pusat sampel.

$$\frac{1}{\tau} = 1 - (1 - Xb)^{1/2}..... (4.3)$$

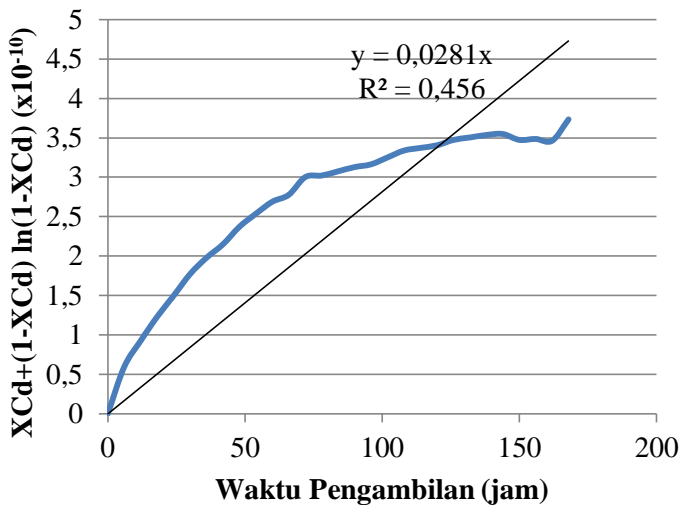
Persamaan 4.3 ini dinamakan dengan model persamaan kinetika *Reaction Control* dimana reaksi terjadi menyeluruh pada geopolimer.

Persamaan tersebut mengandung arti bahwa  $1/\tau$  adalah k sehingga orde reaksi dapat dicari dari persamaan tersebut dan  $Xb$  merupakan fraksi logam yang berdifusi pada proses *leaching*.(Levenspiel, 1999).

Dari hasil penelitian uji *leaching* pada geopolimer yang ditambahkan logam Cd dengan konsentrasi 1000 ppm didapatkan persamaan yang sesuai adalah *Ash Diffusion Control* dengan regresi yang paling bagus. Grafik hasil persamaan *Ash Diffusion Control* dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Grafik persamaan *Ash Diffusion Control* didapatkan dari plot antara waktu pengambilan sampel sebagai sumbu X dan  $Xb + (1 - Xb)\ln(1 - Xb)$  sebagai sumbu Y. pada persamaan model kinetika yang lain didapatkan regresi negatif.

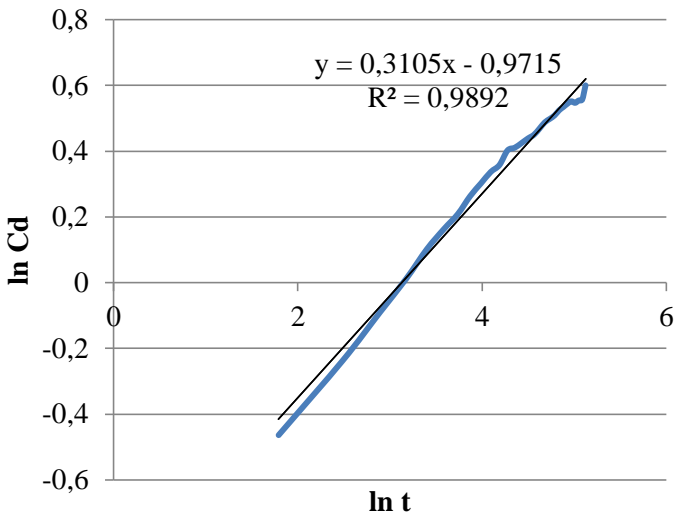




**Gambar 4. 6.** Model Kinetika Reaksi Menurut Persamaan *Ash Diffusion Control*

Menurut hasil dari kesesuaian model kinetika yang telah dihitung dan hasil yang paling bagus adalah model kinetika *Ash Diffusion Control* maka proses terjadinya difusi dari *buffer* asetat adalah menembus permukaan dari geopolimer kemudian ion logam  $Cd^{2+}$  yang terdapat pada jaringan geopolimer bereaksi dengan *buffer* asetat kemudian *terleaching* (Levenspiel, 1999).

Selain Levenspiel, Alghanmi dkk. (2015) juga membahas model kinetika reaksi dengan berbagai macam model, menurut Alghanmi model kinetika *leaching* yang sesuai adalah model *Two Constant Rate* yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7.



**Gambar 4. 7.** Model Kinetika *Two Constant Rate*

Pada penghitungan grafik model kinetika *leaching* dari *Two Constant Rate* dilakukan pengeplotan pada sumbu X adalah  $\ln t$  yaitu dari waktu pengambilan sampel hasil uji *leaching* dan pada sumbu Y adalah  $\ln Cd$  adalah konsentrasi dari ion logam  $Cd^{2+}$  yang *terleaching* (Alghanmi dkk., 2015). Model persamaan *two constant rate* memiliki persamaan yang di tunjukkan oleh persamaan 4.4.

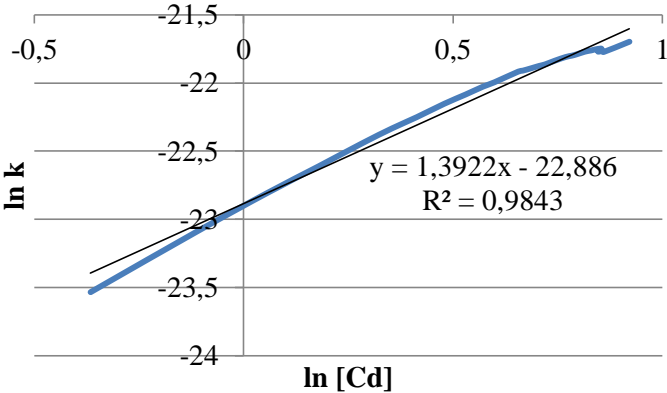
$$q = kt^v \dots\dots\dots (4.4)$$

Persamaan tersebut juga di digunakan oleh Inyinbor, dkk. (2016) dimana persamaan tersebut dapat di turunkan menjadi persamaan 4.5.

$$\ln q = \ln k + v \ln t \dots\dots\dots (4.5)$$

Dari persamaan tersebut grafik ditentukan dari plot antara sumbu X adalah  $\ln t$  dan sumbu Y adalah  $\ln q$  yaitu konsentrasi logam yang terleaching (Inyinbor dkk., 2016).

Walaupun persamaan 4.4 memiliki regresi yang bagus namun persamaan yang paling cocok dengan kondisi leaching geopolimer adalah persamaan 4.2 yang berarti difusi buffer asetat masuk ke dalam permukaan geopolimer. Dari persamaan 4.2 dapat dicari orde reaksinya dengan plot grafik  $\ln [Cd]$  sebagai sumbu X dan  $\ln k$  sebagai sumbu Y, hasil dari perhitungan orde reaksi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4. 8.** Orde Reaksi

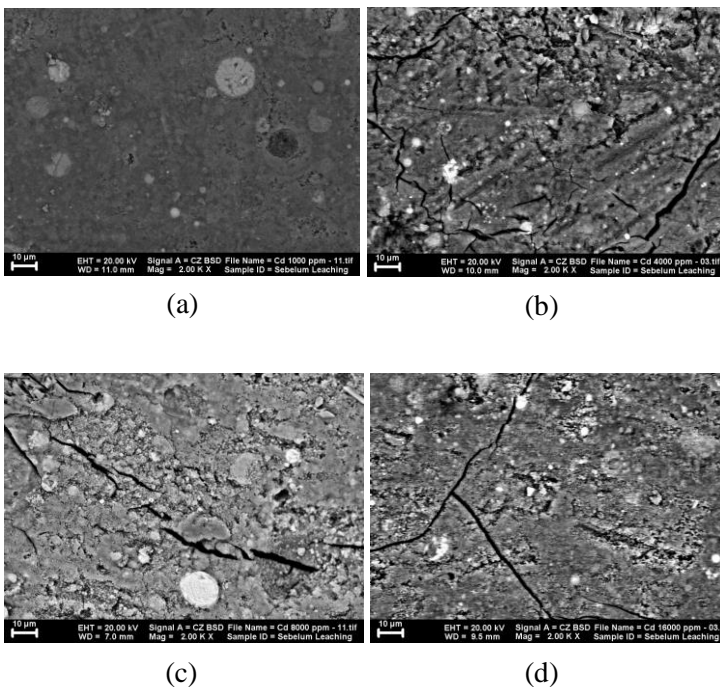
Grafik tersebut menghasilkan persamaan  $y=1,3922x - 22,886$  dengan  $R^2=0,9843$ , persamaan tersebut memiliki arti bahwa grafik tersebut memiliki slope sebesar 1,3922 dan intercept sebesar 22,886, slope merupakan orde reaksi dari

proses *leaching* geopolimer yang telah dilakukan yang artinya orde reaksi dari proses *leaching* adalah 1,3922.

#### **4.6. Hasil Pengujian SEM-EDX**

Geopolimer yang telah disintesis diuji menggunakan SEM-EDX pada sampel sebelum mengalami proses *leaching* dan setelah mengalami proses *leaching*. Sebelum melakukan pengujian SEM-EDX beton geopolimer diampas terlebih dahulu untuk menghaluskan permukaannya. Pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui apakah ada abu layang yang belum bereaksi, adanya pori-pori pada geopolimer yang disintesis, adanya retakan (mikrocracking) pada geopolimer yang akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik geopolimer tersebut. Pengujian EDX bertujuan untuk mengetahui *mapping line* pada pusat sampai tepi geopolimer hal ini bertujuan untuk membuktikan pernyataan dari Levenspiel (1999) adalah benar yaitu pada model kinetika *Ash Diffusion Control* cairan *buffer* asetat berdifusi dari permukaan sampai ke dalam yang berarti kandungan ion logam  $Cd^{2+}$  seharusnya lebih banyak pada pusat geopolimer dan lebih sedikit pada permukaan geopolimer. Selain itu pengujian EDX juga bisa digunakan untuk melihat persebaran ion logam  $Cd^{2+}$  pada geopolimer yang disintesis.

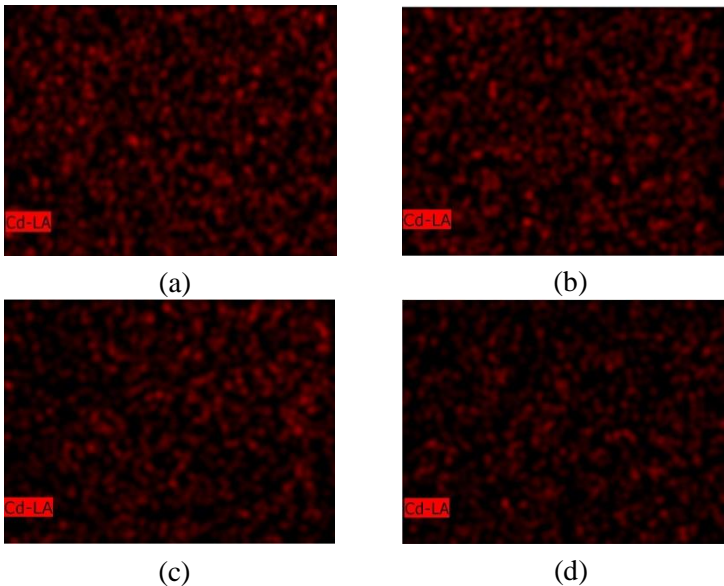
Pengujian SEM-EDX sebelum mengalami proses *leaching* dilakukan pada semua variasi logam Cd yang di tambahkan pada komposisi geopolimer. Pada pengujian SEM-EDX sebelum mengalami proses *leaching* dari semua variasi penambahan logam Cd didapatkan hasil seperti pada Gambar 4.9.



**Gambar 4. 9.** Foto SEM pada Sampel Geopolimer Sebelum *Leaching* dengan Penambahan Logam Cd. (a) 1000 ppm, (b) 4000 ppm, (c) 8000 ppm, (d) 16000 ppm.

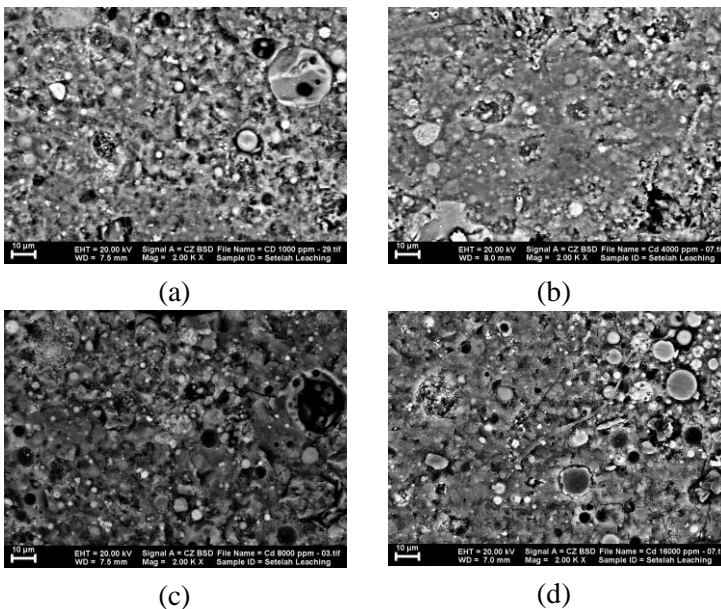
Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada penambahan logam Cd semakin banyak geopolimer semakin banyak terbentuk lubang atau rongga pada jaringannya, selain itu semakin banyak pula konsentrasi logam yang ditambahkan semakin banyak pula retakan (mikrocracking) yang dihasilkan. Hal ini sesuai seperti pengujian kuat tekannya bahwa semakin banyak konsentrasi logam Cd yang ditambahkan maka kuat tekan dari beton geopolimer tersebut

akan semakin menurun karena adanya lubang dan retakan pada jaringannya, Zaheer (2016) juga mengatakan bahwa semakin banyak pori-pori pada jaringan geopolimer akan menyebabkan geopolimer itu memiliki kuat tekan yang rendah (Zaheer dkk., 2016).



**Gambar 4. 10.** Sebaran Ion  $\text{Cd}^{2+}$  pada Sampel Geopolimer Sebelum *Leaching* dengan Variasi Penambahan Logam Cd. (a) 1000 ppm, (b) 4000 ppm, (c) 8000 ppm, (d) 16000 ppm.

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat persebaran ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  pada semua variasi penambahan logam Cd, dan hasilnya persebaran ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  merata pada semua variasi geopolimer.

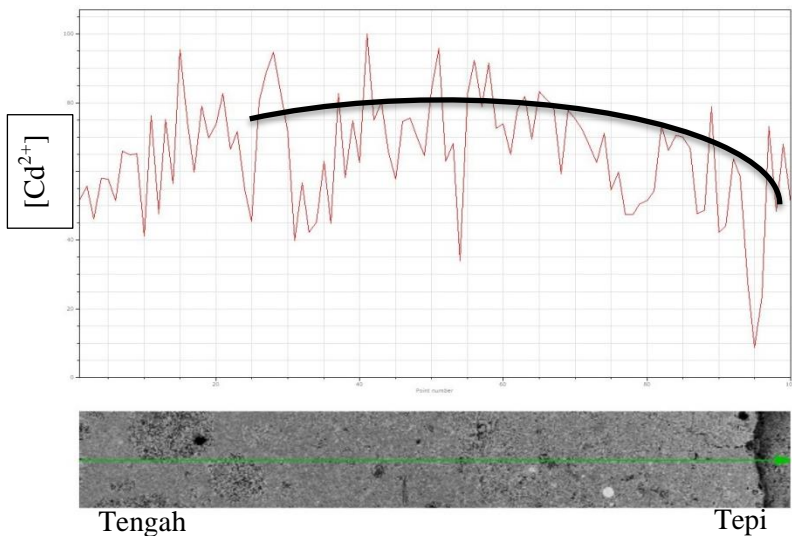
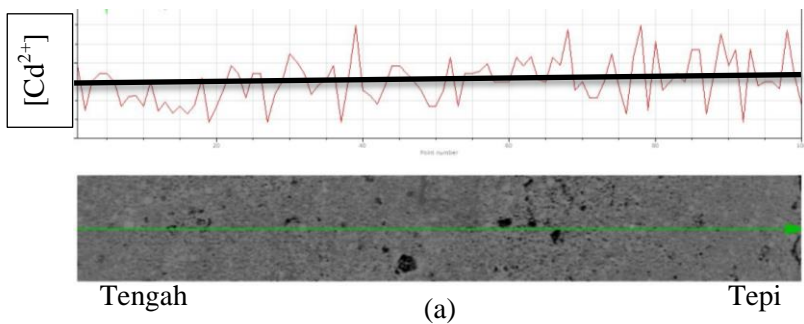


**Gambar 4. 11.** Foto SEM dari Sampel Geopolimer Setelah *Leaching* dengan Penambahan Logam Cd. (a) 1000 ppm, (b) 4000 ppm, (c) 8000 ppm, (d) 16000 ppm.

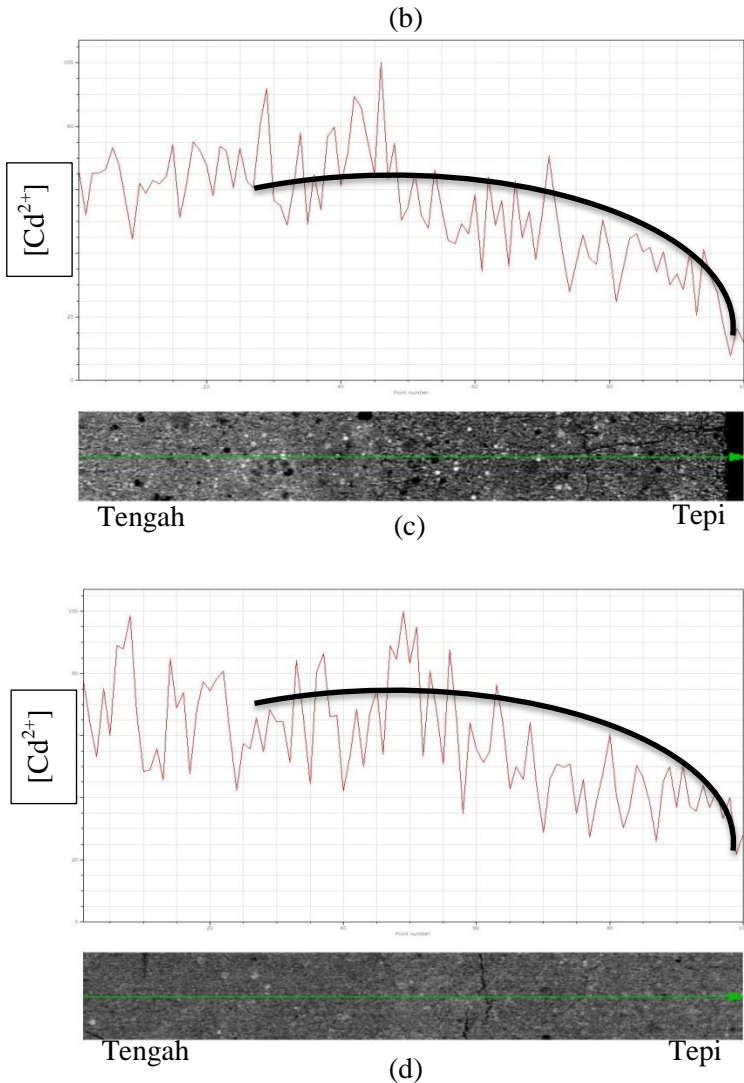
Pada pengujian SEM-EDX sampel geopolimer setelah *leaching* ditunjukkan pada Gambar 4.11, hasil pengujian SEM-EDX pada sampel geopolimer setelah *leaching* menunjukkan bahwa semua sampel geopolimer memiliki lubang-lubang pada strukturnya, hal ini sesuai dengan hasil kuat tekan yang diperoleh bahwa kuat tekan geopolimer sebelum mengalami proses *leaching* memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibanding dengan geopolimer yang telah mengalami proses *leaching*, hal ini karena struktur geopolimer setelah *leaching* memiliki pori yang lebih besar dibanding struktur geopolimer sebelum *leaching* karena

semakin banyak pori-pori pada jaringan geopolimer akan menyebabkan geopolimer itu memiliki kuat tekan yang rendah (Zaheer dkk., 2016).

*Mapping line* pada geopolimer setelah mengalami proses *leaching* ditunjukkan pada Gambar 4.12, *mapping line* digunakan untuk mengetahui pergerakan dari ion logam Cd yang terleaching.



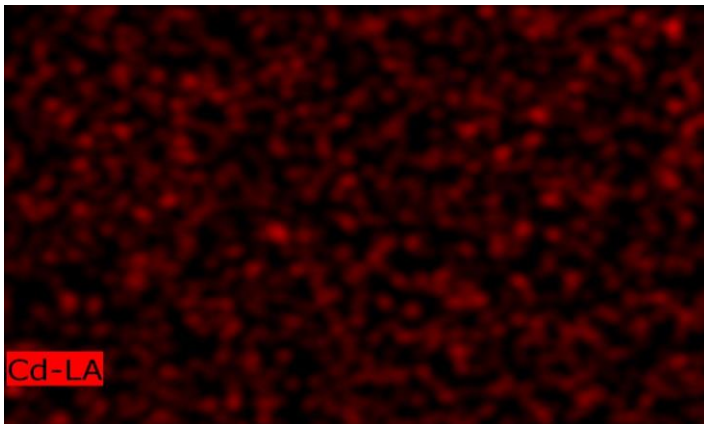




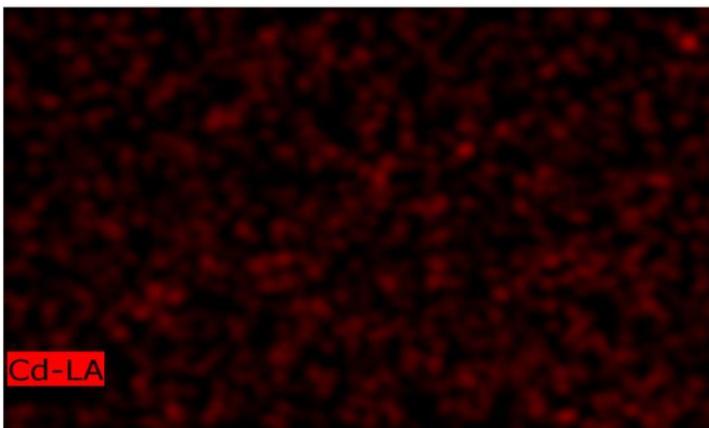
**Gambar 4. 12.** *Mapping Line* dari Geopolimer Setelah *Leaching* dengan Variasi Penambahan Logam Cd. (a) 1000 ppm, (b) 4000 ppm, (c) 8000 ppm, (d) 16000 ppm.

Pengujian *mapping line* SEM-EDX didapatkan kandungan logam Cd pada pusat geopolimer memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan geopolimer yang ditunjukkan oleh grafik *mapping line*, sebelah kiri merupakan pusat geopolimer dan sebelah kanan merupakan permukaan geopolimer. Hal ini disebabkan karena permukaan geopolimer mengalami kontak langsung dengan larutan *buffer* asetat sehingga ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  pada permukaan geopolimer akan *terleaching* lebih banyak dibanding dengan pusat geopolimer. Dari hasil *mapping line*, hasil perhitungan kinetika sesuai seperti yang dikatakan oleh Levenspiel (1999), yang mengatakan bahwa persamaan kinetika yang cocok untuk geopolimer adalah *Ash Diffusion Control* yaitu larutan *buffer* asetat berdifusi dari permukaan geopolimer kemudian masuk ke dalam sehingga konsentrasi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  pada permukaan geopolimer cenderung lebih sedikit dibanding pusat geopolimer.

Pengujian sampel geopolimer menggunakan EDX untuk mengetahui perbandingan persebaran ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  pada geopolimer sebelum dan setelah *leaching* ditunjukkan pada Gambar 4.13. Persebaran ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  pada geopolimer sebelum *leaching* terlihat lebih banyak dibanding dengan geopolimer setelah *leaching*, hal ini membuktikan bahwa konsentrasi logam  $\text{Cd}^{2+}$  pada geopolimer *terleaching* pada kondisi asam dengan pH 5 sesuai dengan pernyataan Zhang (2008) (Zhang dkk., 2008).



(a)



(b)

**Gambar 4. 13.** Sebaran Ion Logam  $\text{Cd}^{2+}$  (a) Sebelum *Leaching*, (b) Setelah *Leaching*.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Geopolimer berbasis abu layang PT. IPMOMI telah berhasil disintesis dengan menggunakan abu layang PT IPMOMI, *waterglass*,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , serta NaOH. Geopolimer yang telah disintesis ditambahkan logam Cd sebagai limbah sintesis untuk diamobilisasi dengan konsentrasi 1000, 4000, 8000, dan 16000 ppm. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Geopolimer dengan penambahan logam Cd dengan konsentrasi 1000 dan 4000 ppm menghasilkan kuat tekan diatas rata-rata yaitu 24,28 dan 20,7 MPa dengan kuat tekan tanpa penambahan sebesar 19,2 MPa.
2. Geopolimer yang telah ditambah logam Cd 1000, 4000, 8000 16000 ppm sebagai limbah buatan diuji *leaching* untuk mengetahui ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang ter*leaching* berturut-turut adalah sebagai berikut 4,46%, 6,58%, 8,18%, dan 8,97%.
3. Geopolimer dengan penambahan logam Cd yang diuji *leaching* menyebabkan penurunan kuat tekan pada semua variasi penambahan logam Cd.
4. Geopolimer yang telah diuji *leaching* memiliki model persamaan kinetika *Ash Diffusion Control* yang berarti *buffer* asetat masuk kedalam menembus permukaan geopolimer dalam mekanisme *leaching*nya.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Alghanmi, Shorouq I., Al, Amani F., El-zayat, Tahani A. (2015). Acid leaching of heavy metals from contaminated soil collected from Jeddah , Saudi Arabia : kinetic and thermodynamics studies. *International Soil and Water Conservation Research*. Vol 3. Hal. 196-208.
- Benhelal E., Zahedi G., Shamsaei E., Bahadori A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO<sub>2</sub> emissions in cement industry. *J. Cleaner Prod.*, pp.142–61.
- Brindley, G.W. and Brown, G. (1980). Crystal Structure of clay materials and their X-ray identification. *Mineralogical Society*, pp.378-80.
- Chang, H. H., Cheng C. L., Huang P. J., & Lin S. Y. (2014). *SEM-EDX investigation of the cross-sectional microstructure and elemental composition of a giant human cardiac calculus*.
- Chen Xu, Meawad Amr, Struble Leslie J. (2014). Method to Stop Geopolymer Reaction. *Journal of the American Ceramic Society*. Vol 97. Hal 3270-3275
- Chindapasirt P., Chareerat T., Sirivivatnanon V. (2007). Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. *Cem. Concr. Compos.*, pp.224–29.
- Cullity, B. D. (1978). *Element of X-ray Diffraction*. Departement of metallurgical Engeenering and Materials science: Addison-Wesley Publishing Company.
- Davidovits, J. (1988). Geopolymer Chemistry and Properties. *Proceedingsof Geopolymer '88*, First European

- Conference on Soft Mineralurgy, Compiègne, France, Vol. 1, hal. 49-67.
- Davidovits, J. (1994). *High alkali cements for 21st century concretes, concrete technology, past, present, and future*. American Concrete Institute: P.K. Mehta (Ed.).
- Deja, J. (2002), "Immobilization of  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  in alkali-activated slag binders". *Journal Chemical Concrete. Reseach.* Vol.32, hal. 1971–1979. doi:10.1016/S0008-8846(02)00904-3
- Dipohusodo, Istimawan. (1996). "Manajemen Proyek dan Konstruksi". Kanisius: Yogyakarta.
- Downs, B. (2006, 14 20). "*Quartz R040031 - RRUFF Database: Raman, X-ray, Infrared, and Chemistry*". Retrieved 07 20, 2015, from RRUFF: <http://rruff.info/quartz/display=default/R040031>
- Fernandez-Jimenez A., García-Lodeiro I., Palomo A. (2007). Durability of alkali-activated fly ash cementitious materials. *J. Mater. Sci.*, pp.3055–65.
- Fernandez-Jimenez, A., Macphee, D.E., Lachowski, E.E., dan Palomo, A., (2005). Immobilization of cesium in alkaline activated fly ash matrix. *Journal Nuclear . Material*. Vol. 346, hal. 185–193.
- Gandjar, Ibnu Gholib, Abdul Rohman. (2007). "Farmasi Kimia Analisis". Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Giancoli, Douglas C. (1984). *Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- Griffin, B.J. and Riessen, V.A. (1991). *Scanning electron microscopy course notes*. Australia: The University of Western Australia.
- Health J., & Taylor N. (2015). *Eneregy Dispersive Spectroscopy*. New York: John Wiley & Son, Ltd.



- Inyinbor, A A., Adekola, F A., Olatunji, G A. (2016). Kinetics, isotherms and thermodynamic modeling of liquid phase adsorption of Rhodamine B dye onto *Raphia hookerie* fruit epicarp. *Water Resources and Industry*. Vol 15. Hal 14-27.
- Izquierdo, M., Querol, X., Davidovits, J., Antenucci, D., Nugteren, H., dan Fernández-Pereira, C. (2009). Coal fly ash-slag-based geopolymers: Microstructure and metal leaching. *Journal Hazardous. Material*. Vol. 166, hal. 561–566. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.11.063
- Levenspiel Octave. (1999). *Chemical reaction engineering*. New York: Oregon State University. Hal 4140 - 4143.
- Nath P., Sarker P.K. (2014). Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition. *Constr. Build. Mater.*, pp.163–71.
- Nicolas, R.V.R.S, Walkley B., van Deventer, J.S.J. (2017). Fly ash-based geopolymer chemistry and behavior. *Coal Combustion Products (CCP's)*. Hal 185-214
- Panias, D., Giannopoulou, I.P., dan Perraki, T. (2007), "Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers", *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* Vol. 301, hal. 246–254. doi:10.1016/j.colsurfa.2006.12.064
- Supriadi, W. (2017). Amobilisasi Kation-Kation Logam Berat Menggunakan Geopolimer dari Abu layang. Disertasi program doktor. Jurusan Kimia FMIPA ITS, Surabaya.
- Supriyanto, C., Samin, & Zainul, K. (2007). Analisis Cemar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). *Prosding 3rd Seminar Nasional*. Yogyakarta: BATAN.

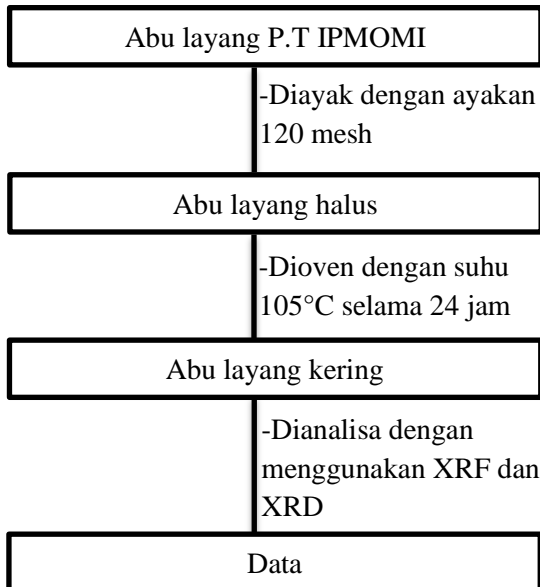
- Standar Nasional Indonesia, (2015). “Standar Natrium Silikat Teknis Cair”. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Tao Yang, Huajun Zhu, Zuhua Zhang, Xuan Gao, Changseng Zhang, Quisheng Wu. (2018). Effect of fly ash microsphere on the rheology and microstructure of alkaliactivated fly ash/slag pastes. *Cement and Concrete Research.*, pp. 198-207
- van Jaarsveld, J.G.S., van Deventer, J.S.J., dan Schwartzman, A. (1999), The potential use of geopolymeric materials to immobilise toxic metals: Part II. Material and leaching characteristics. *Miner. Eng.* Vol. 12, hal. 75–91. doi:10.1016/S0892-6875(98)00121-6
- Zaheer Musaad, Khan Nazir, Shaikh Ahmed, Hao Yifei, Hao Hong. (2016). Synthesis of high strength ambient cured geopolymer composite by using low calcium fly ash. *Construction and Building Materials.* Vol 125. Hal 809-820.
- Zhang, J., Provis, J.L., Feng, D., dan van Deventer, J.S.J. (2008), Geopolymers for immobilization of  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , and  $\text{Pb}^{2+}$ , *J. Hazard. Mater.* Vol. 157, 587–hal. 598. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.01.053
- Zheng L., Wei Wang, Qiao W., Shi Y. and Xiao Liu. (2014). Immobilization of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and  $\text{Cd}^{2+}$  during geopolymerization. *Front. Environ. Science Engineering*, 1-7.

## LAMPIRAN

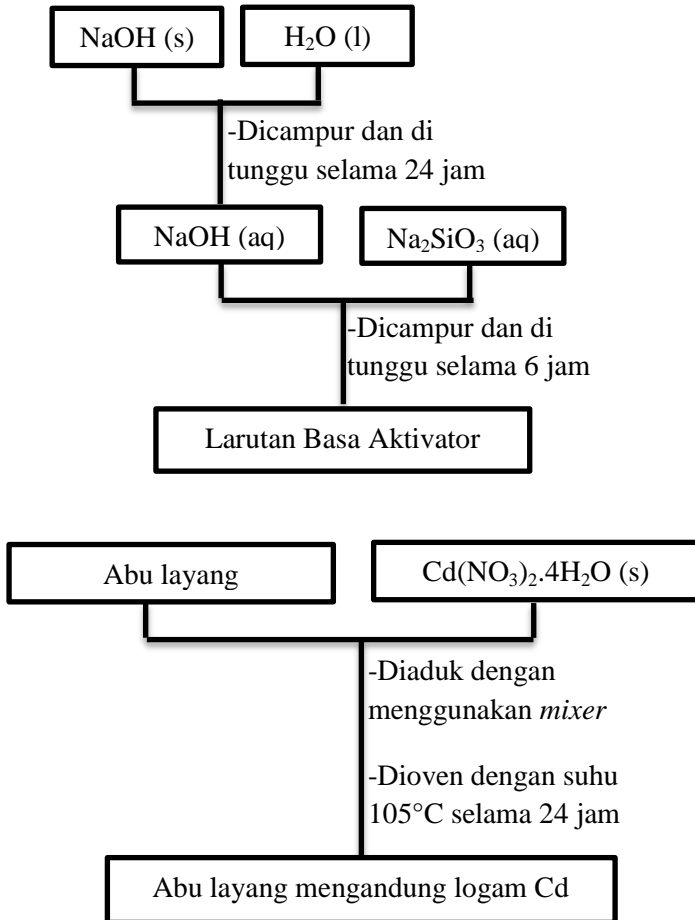
### LAMPIRAN A

#### A.1. Prosedur Kerja

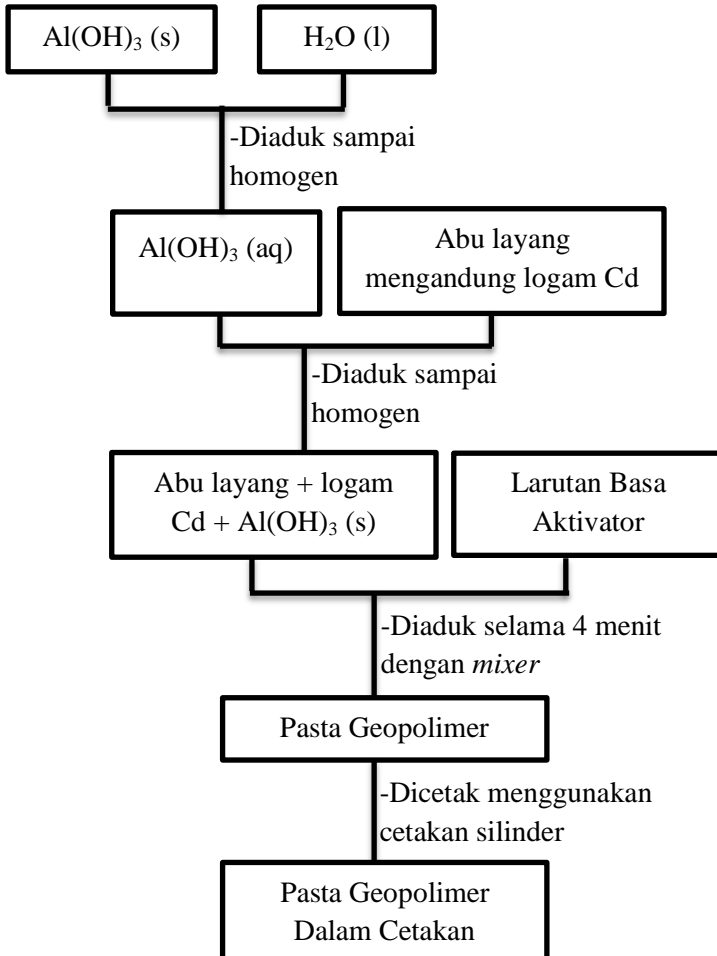
##### A.1.1. Preparasi Abu Layang

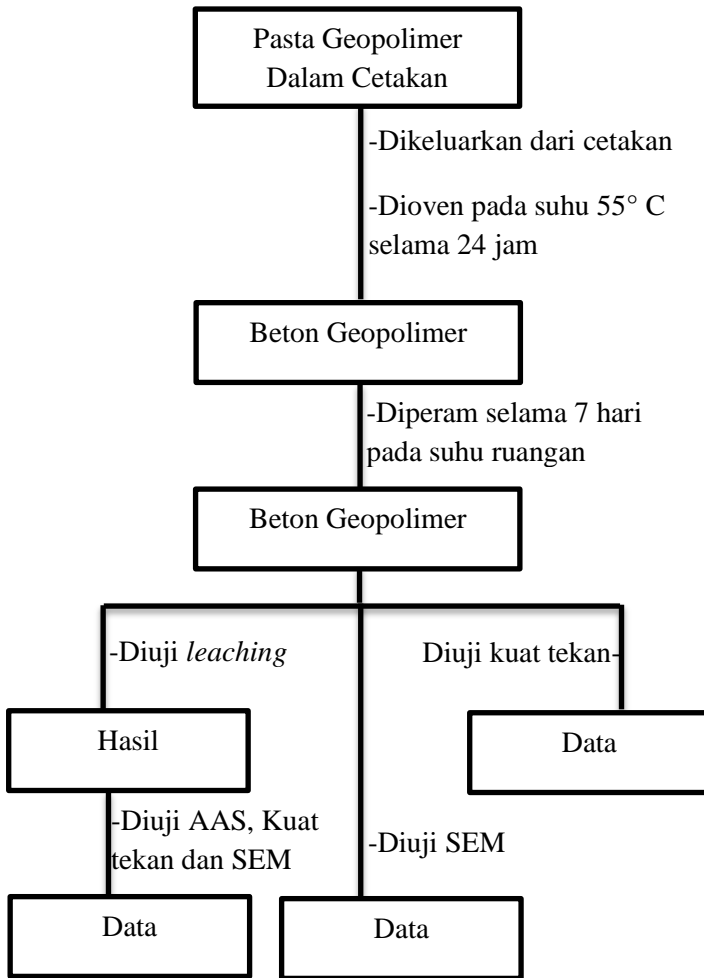


**A.2. Pembuatan Basa Aktivator dan Pemberian Logam Cd pada Abu layang**



### A.3. Sintesis Geopolimer





## LAMPIRAN B

### B.1. Analisa Kandungan Abu layang dan *Waterglass*

Senyawa	Berat Molekul (g/mol)	Abu Layang (%)	<i>Waterglass</i> (%)
<b>SiO<sub>2</sub></b>	80	51	28,69
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	100	14	-
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	62	19	19,35
<b>Al(OH)<sub>3</sub></b>	78	-	-
<b>H<sub>2</sub>O</b>	18	-	28,94
<b>NaOH</b>	40	-	-

### B.2. Prosentase Kemurnian Bahan

Nama Bahan	Prosentase Solid (%)
<b>Abu Layang</b>	100
<b><i>Waterglass</i></b>	71,06
<b>Al(OH)<sub>3</sub></b>	99
<b>NaOH</b>	99

### B.3. Perhitungan Rasio S/L

Fasa solid dari komposisi penyusun geopolimer terdiri dari abu layang, NaOH, Al(OH)<sub>3</sub>, dan *waterglas*. Sedangkan fasa liquid adalah *waterglass*, Al(OH)<sub>3</sub>, dan H<sub>2</sub>O. Untuk membuat 1 resep geopolimer pasta dibutuhkan bahan sebagai berikut.

Bahan	Berat (g)
<b>Abu Layang (AL)</b>	260
<b><i>Waterglass</i> (WG)</b>	80
<b>Al(OH)<sub>3</sub> (AH)</b>	3,4
<b>NaOH</b>	28
<b>Aqua DM</b>	61,3

Dari komposisi tersebut dapat dihitung rasio Solid/Liquidnya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Rasio } \frac{S}{L} &= \frac{AL + (WG \times 71,06\%) + (AH \times 99\%) + (NaOH \times 99\%)}{(WG \times 28,94\%) + (AH \times 99\%) + (NaOH \times 1\%) + AquaDM} \\ &= \frac{260 + (80 \times 71,06\%) + (3,4 \times 1\%) + (28 \times 99\%)}{(80 \times 28,94\%) + (3,4 \times 1\%) + (28 \times 1\%) + 61,3} \\ &= 4,1\end{aligned}$$

Dengan perhitungan rasio S/L di atas maka rasio S/L dari geopolimer yang telah disintesis adalah 4,1.

#### **B.4. Perhitungan Kuat Tekan Geopolimer**

Perhitungan kuat tekan diperlukan karena data yang diperoleh dalam pengujian kuat tekan geopolimer dalam satuan Newton, maka dari itu untuk mendapatkan satuan kuat tekan dalam bentuk MPa maka diperlukan penghitungan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{N}{\pi \times r^2}$$

Keterangan:

N= gaya yang dibutuhkan (Newton)

r = jari-jari (m)

p = kuat tekan (Pa)=  $10^{-6}$  MPa

Hasil dari perhitungan kuat tekan dengan menggunakan persamaan diatas menghasilkan kuat tekan sebagai berikut.



<b>Hasil Kuat Tekan Sebelum <i>Leaching</i></b>				
<b>Sampel</b>	<b>Konsentrasi (ppm)</b>			
	<b>1000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>	<b>16000</b>
<b>1</b>	7000	5500	5500	6000
<b>2</b>	7000	8000	5500	5000
<b>3</b>	8000	6000	6500	5500
<b>4</b>	8500	6500	5500	5500
<b>Rata-rata (N)</b>	7625	6500	5750	5500
<b>MPa</b>	24,28	20,70	18,31	17,52

<b>Hasil Kuat Tekan Setelah <i>Leaching</i></b>				
<b>Sampel</b>	<b>Konsentrasi (ppm)</b>			
	<b>1000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>	<b>16000</b>
<b>1</b>	7000	6000	5000	5000
<b>2</b>	6500	5500	6000	5000
<b>3</b>	7000	6000	5000	5000
<b>rata-rata (N)</b>	6833,33	5833,33	5333,33	5000
<b>MPa</b>	21,76	18,58	16,99	15,92

#### **B.5. Perhitungan Massa Logam Cd yang Ditambahkan**

Pembuatan geopolimer harus di tabahkan limbah buatan yang mengandung logam Cd, untuk itu ditambahkan  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  sebagai limbah buatannya, untuk mencapai konsentrasi yang diinginkan maka harus dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$Mr \text{ Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 308 \text{ g/mol}$

$Ar \text{ Cd} = 112 \text{ g/mol}$

Massa abu layang = 260 gram

Amobilisasi kation  $\text{Cd}^{2+}$  pada geopolimer terdapat 4 variasi kadar  $\text{Cd}^{2+}$ .

Oleh karena itu, perhitungan massa  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  yang akan ditambahkan adalah sebagai berikut:

Kadar  $\text{Cd}^{2+} = 1000 \text{ ppm}$

$$\text{ppm} = \frac{\text{massa Cd (mg)}}{\text{massa Abu Layang (kg)}}$$

Pada penelitian geopolimer, zat terlarut adalah Cd dan zat pelarut adalah abu layang, sehingga perhitungannya sebagai berikut.

$$1000 \text{ ppm} = \frac{\text{massa Cd (mg)}}{0,26 \text{ kg}}$$

$$\text{massa Cd} = 1000 \text{ ppm} \times 0,26 \text{ kg}$$

$$\text{massa Cd} = 260 \text{ mg} = 0,26 \text{ g}$$

$$\text{massa Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = \frac{Mr \text{ Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{Ar \text{ Cd}} \times 0,26 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{massa Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} &= \frac{308 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{112 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times 0,26 \text{ g} \\ &= 0,715 \text{ g} \end{aligned}$$

Untuk variasi konsentrasi logam 4000, 8000, dan 16000 ppm dapat dilihat pada tabel berikut.

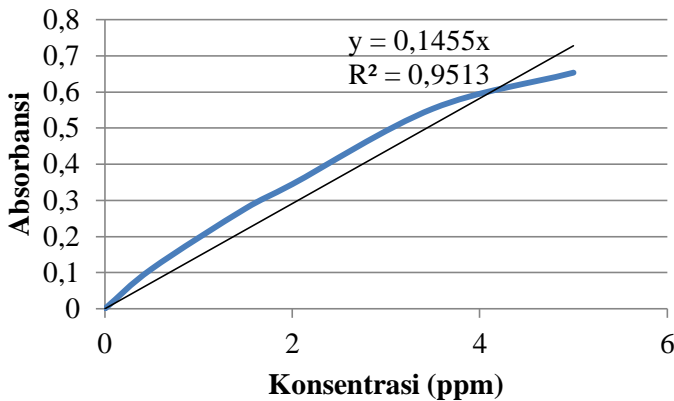
No	Kadar Cd <sup>2+</sup> (ppm)	Massa Cd <sup>2+</sup> dalam 0,2 g abu layang (g)	Massa Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O (g)
1	1000	0,26	0,715
2	4000	1,04	2,86
3	8000	2,08	5,72
4	16000	4,16	11,44

#### B.6. Perhitungan Hasil AAS

Perhitungan hasil AAS diperlukan karena pada pengujian AAS harus di kalibrasi dahulu menggunakan larutan standar. Perhitungan konsentrasi dari hasil AAS memerlukan persamaan dari grafik pada larutan standar sebagai berikut.

Grafik Larutan Standar 1		
No.	Hasil AAS (ppm)	Absorbansi
0	0	0
1	0,5	0,1106
2	1,5	0,2774
3	2	0,3448
4	3,5	0,5536
5	5	0,6533

Tabel diatas merupakan variasi konsentrasi yang digunakan untuk larutan standar pada kalibrasi AAS. Dari data tersebut didapatkan grafik larutan stanbdar sebagai berikut.

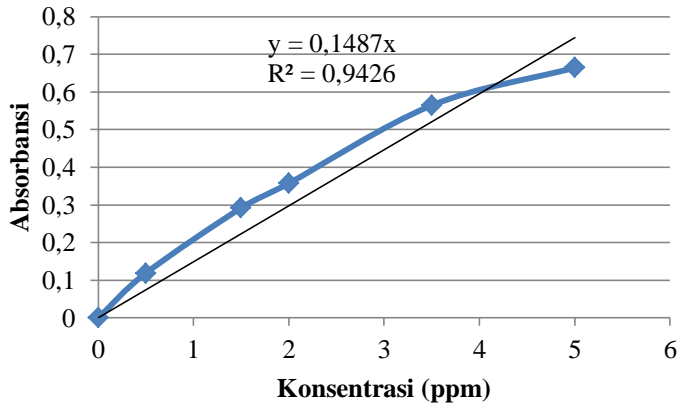


**Gambar Larutan Standar 1**

Pada pengujian AAS dilakukan 2 kali pengujian karena pada sampel geopolimer dengan konsentrasi penambahan logam Cd 4000 ppm pengambilan ke 5 menghasilkan diluar range larutan standar sehingga harus diencerkan terlebih dahulu. Pengujian AAS ke 2 dipakai larutan standar seperti berikut.

<b>Grafik Larutan Standar 2</b>		
<b>No</b>	<b>Hasil AAS (ppm)</b>	<b>Absorbansi</b>
0	0	0
1	0,5	0,1187
2	1,5	0,2918
3	2	0,3573
4	3,5	0,5642
5	5	0,6642

Dari tabel tersebut diplot grafik larutan standar untuk menentukan konsentrasi yang valid. Grafik larutan standar ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar Larutan Standar 2**

Dari persamaan grafik standar tersebut maka didapatkan data konsentrasi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang *terleaching* sebagai berikut.

Hasil AAS Sampel 1000 ppm			
Pengambilan ke (jam)	Konsentrasi AAS	Absorbansi	Konsentrasi
6	0,694	0,146	0,629
12	0,893	0,183	0,788
18	1,057	0,212	0,913
24	1,195	0,235	1,012
30	1,326	0,257	1,107
36	1,425	0,273	1,176

42	1,512	0,286	1,232
48	1,615	0,302	1,301
54	1,699	0,314	1,353
60	1,772	0,325	1,400
66	1,821	0,332	1,430
72	1,927	0,347	1,495
78	1,947	0,350	1,508
84	1,987	0,355	1,529
90	2,025	0,360	1,551
96	2,054	0,364	1,568
102	2,103	0,371	1,598
108	2,157	0,378	1,628
114	2,189	0,382	1,646
120	2,215	0,386	1,663
126	2,260	0,392	1,689
132	2,294	0,396	1,706
138	2,322	0,400	1,723
144	2,351	0,403	1,736
150	2,331	0,401	1,728
156	2,354	0,404	1,740
162	2,363	0,405	1,745
168	2,513	0,423	1,822

Hasil AAS Sampel 4000 ppm			
Pengambilan ke (jam)	Konsentrasi AAS	Absorbansi	Konsentrasi
6	2,457	0,416	1,792
12	3,193	0,500	2,154
18	4,337	0,608	2,619

24	5,494	0,661	2,848
30	0,135	0,032	3,119
36	0,158	0,039	3,801
42	0,166	0,041	3,996
48	0,173	0,043	4,191
54	0,176	0,044	4,289
60	0,180	0,044	4,289
66	0,194	0,048	4,679
72	0,202	0,050	4,873
78	0,216	0,053	5,166
84	0,230	0,056	5,458
90	0,231	0,056	5,458
96	0,234	0,057	5,556
102	0,240	0,059	5,751
108	0,243	0,059	5,751
114	0,262	0,064	6,238
120	0,264	0,064	6,238
126	0,264	0,064	6,238
132	0,296	0,071	6,920
138	0,378	0,090	8,772
144	0,390	0,093	9,065
150	0,410	0,097	9,455
156	0,423	0,100	9,747
162	0,434	0,102	9,942
168	0,445	0,105	10,234

Hasil AAS Sampel 8000 ppm			
Pengambilan ke (jam)	Konsentrasi AAS	Absorbansi	Konsentrasi

6	0,238	0,058	5,653
12	0,327	0,079	7,700
18	0,406	0,096	9,357
24	0,502	0,117	11,404
30	0,542	0,125	12,184
36	0,563	0,129	12,574
42	0,654	0,148	14,426
48	0,684	0,154	15,010
54	0,716	0,16	15,595
60	0,731	0,163	15,888
66	0,765	0,17	16,570
72	0,822	0,181	17,642
78	0,846	0,185	18,032
84	0,898	0,195	19,007
90	0,906	0,197	19,202
96	1,012	0,216	21,053
102	1,001	0,214	20,859
108	1,085	0,229	22,321
114	1,009	0,215	20,956
120	1,085	0,229	22,321
126	1,103	0,232	22,613
132	1,102	0,232	22,613
138	1,114	0,239	23,295
144	1,149	0,24	23,393
150	1,166	0,243	23,685
156	1,221	0,252	24,562
162	1,232	0,254	24,757
168	1,282	0,262	25,537



Hasil AAS Sampel 16000 ppm			
Pengambilan ke (jam)	Konsentrasi AAS	Absorbansi	Konsentrasi
6	0,717	0,161	15,693
12	0,95	0,205	19,981
18	1,195	0,248	24,172
24	1,453	0,29	28,266
30	1,57	0,308	30,021
36	1,547	0,304	29,631
42	1,888	0,354	34,504
48	1,974	0,366	35,674
54	2,075	0,38	37,038
60	2,137	0,388	37,818
66	2,266	0,405	39,475
72	2,356	0,416	40,547
78	2,548	0,44	42,887
84	2,611	0,447	43,569
90	2,653	0,452	44,056
96	2,802	0,469	45,713
102	2,867	0,477	46,493
108	2,858	0,474	46,201
114	2,913	0,482	46,980
120	3,007	0,492	47,955
126	3,197	0,512	49,904
132	3,111	0,503	49,027
138	3,259	0,522	50,879
144	3,361	0,529	51,561
150	3,478	0,541	52,731

156	3,501	0,543	52,926
162	3,548	0,548	53,413
168	3,635	0,556	54,193

Pada pengujian AAS dengan konsentrasi logam Cd yang di tambahkan 4000 pengambilan ke 5 (jam ke 30) dilakukan pengenceran sebesar 25 kali dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

Keterangan:

$V_1$  = volume awal

$V_2$  = volume akhir

$N_1$  = normalitas awal

$N_2$  = normalitas akhir

### B.7. Perhitungan Massa Logam Cd yang *Terleaching*

Perhitungan *leaching* logam Cd pada geopolimer yang direndam pada 2000 ml *buffer* asetat adalah sebagai berikut.

Perhitungan dilakukan pada sampel Cd dengan konsentrasi 1000 ppm.

Massa total = AL + WG + Al(OH)<sub>3</sub> + NaOH + H<sub>2</sub>O + Cd(NO)<sub>3</sub>,4H<sub>2</sub>O

Massa total = 260 g + 80 g + 3,4 g + 28 g + 50 g + 0,72 g

Massa total = 422,12 g

$$Kadar\ Cd\ pada\ geopolimer = \frac{massa\ Cd}{massa\ total\ geopolimer}$$

$$Kadar\ Cd\ pada\ geopolimer = \frac{260\ mg}{422,12\ g}$$

$$\text{Kadar Cd pada geopolimer} = 0,616 \text{ mg/g}$$

Pada proses *leaching* geopolimer yang dimasukkan pada *buffer* asetat dengan sampel geopolimer penambahan logam Cd sebesar 1000 ppm adalah 114,7 gram. Karena logam Cd dalam geopolimer dianggap tersebar secara merata maka didapatkan perhitungan massa logam Cd yang ditambahkan sebagai berikut.

$$\text{Massa Cd yang dileaching} = \text{massa geopolimer yang dileaching} \times \text{kadar Cd}$$

$$\text{Massa Cd yang dileaching} = 114,7 \text{ gram} \times 0,616 \text{ mg/g}$$

$$\text{Massa Cd yang dileaching} = 70,65 \text{ mg}$$

Untuk perhitungan dengan variasi logam Cd yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

Senyawa	Variasi Logam Cd (ppm)			
	1000	4000	8000	16000
Abu Layang	260	260	260	260
Waterglass	80	80	80	80
Al(OH) <sub>3</sub>	3,4	3,4	3,4	3,4
NaOH	28	28	28	28
H <sub>2</sub> O	50	50	50	50
Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,72	2,85	5,73	11,45
Total (g)	422,12	424,25	427,13	432,85
Ion Cd <sup>2+</sup> (g)	0,26	1,04	2,08	4,16

Kadar Logam Cd			
Variasi	Massa geopol	Cd (mg)	Kadar (mg/g)
1000	422,12	260	0,616
4000	424,25	1040	2,451
8000	427,13	2080	4,870
16000	432,85	4160	9,611

<b>Massa Cd Saat <i>Leaching</i></b>		
<b>Variasi</b>	<b>Massa geopol (g)</b>	<b>Massa Cd (mg)</b>
<b>1000</b>	114,7	70,65
<b>4000</b>	109,8	269,16
<b>8000</b>	110,95	540,29
<b>16000</b>	108,7	1044,69

Dengan hasil leaching yang diperoleh dapat ditentukan berapa massa logam Cd penambahan logam Cd 16000 ppm pengambilan pertama yang *terleaching* seperti persamaan berikut.

$$Kadar\ Cd\ yang\ terleaching = \frac{mg\ Cd}{Volume\ buffer\ asetat}$$

$$15,693\ ppm = \frac{mg\ Cd}{2\ L}$$

$$mg\ Cd = 31,385\ mg$$

Untuk perhitungan prosentase logam Cd yang *terleaching* pada geopolimer dengan penambahan logam Cd 16000 ppm pengambilan pertama adalah sebagai berikut.

$$\% Cd\ terleaching = \frac{mg\ Cd\ yang\ terleaching}{mg\ Cd\ yang\ di\ leaching} \times 100\%$$

$$\% Cd\ terleaching = \frac{31,385\ mg}{1044,69\ mg} \times 100\%$$

$$\% Cd\ yang\ terleaching = 3,004\%$$

Untuk variasi penambahan logam Cd yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

Hasil AAS Sampel 1000 ppm			
Pengambilan ke (jam)	Volume (L)	Cd Terleaching (mg)	% Cd Terleaching
6	2	1,258	1,781
12	1,99	1,569	2,221
18	1,98	1,808	2,560
24	1,97	1,994	2,823
30	1,96	2,170	3,072
36	1,95	2,293	3,246
42	1,94	2,390	3,383
48	1,93	2,511	3,554
54	1,92	2,597	3,676
60	1,91	2,674	3,785
66	1,9	2,718	3,847
72	1,89	2,825	3,999
78	1,88	2,835	4,012
84	1,87	2,860	4,048
90	1,86	2,885	4,083
96	1,85	2,901	4,106
102	1,84	2,941	4,163
108	1,83	2,980	4,218
114	1,82	2,995	4,239
120	1,81	3,010	4,260
126	1,8	3,040	4,303
132	1,79	3,054	4,322
138	1,78	3,067	4,342
144	1,77	3,073	4,350

150	1,76	3,040	4,304
156	1,75	3,046	4,311
162	1,74	3,036	4,297
168	1,73	3,153	4,462

Hasil AAS Sampel 4000 ppm			
Pengambilan ke (jam)	Volume (L)	Cd Terleaching (mg)	% Cd Terleaching
6	2	3,584	1,332
12	1,99	4,287	1,593
18	1,98	5,186	1,927
24	1,97	5,610	2,084
30	1,96	6,113	2,271
36	1,95	7,413	2,754
42	1,94	7,753	2,880
48	1,93	8,089	3,005
54	1,92	8,234	3,059
60	1,91	8,191	3,043
66	1,9	8,889	3,303
72	1,89	9,211	3,422
78	1,88	9,712	3,608
84	1,87	10,207	3,792
90	1,86	10,152	3,772
96	1,85	10,278	3,819
102	1,84	10,581	3,931
108	1,83	10,524	3,910
114	1,82	11,353	4,218
120	1,81	11,291	4,195

126	1,8	11,229	4,172
132	1,79	12,387	4,602
138	1,78	15,615	5,801
144	1,77	16,044	5,961
150	1,76	16,640	6,182
156	1,75	17,057	6,337
162	1,74	17,299	6,427
168	1,73	17,705	6,578

Hasil AAS Sampel 8000 ppm			
Pengambilan ke (jam)	Volume (L)	Cd Terleaching (mg)	% Cd Terleaching
6	2	11,31	2,093
12	1,99	15,32	2,836
18	1,98	18,53	3,429
24	1,97	22,47	4,158
30	1,96	23,88	4,420
36	1,95	24,52	4,538
42	1,94	27,99	5,180
48	1,93	28,97	5,362
54	1,92	29,94	5,542
60	1,91	30,35	5,616
66	1,9	31,48	5,827
72	1,89	33,34	6,171
78	1,88	33,90	6,274
84	1,87	35,54	6,578
90	1,86	35,71	6,610
96	1,85	38,95	7,209

102	1,84	38,38	7,104
108	1,83	40,85	7,560
114	1,82	38,14	7,059
120	1,81	40,40	7,478
126	1,8	40,70	7,534
132	1,79	40,48	7,492
138	1,78	41,47	7,675
144	1,77	41,41	7,663
150	1,76	41,69	7,715
156	1,75	42,98	7,956
162	1,74	43,08	7,973
168	1,73	44,18	8,177

Hasil AAS Sampel 16000 ppm			
Pengambilan ke (jam)	Volume (L)	Cd Terleaching (mg)	% Cd Terleaching
6	2	31,385	3,004
12	1,99	39,763	3,806
18	1,98	47,862	4,581
24	1,97	55,684	5,330
30	1,96	58,841	5,632
36	1,95	57,780	5,531
42	1,94	66,938	6,407
48	1,93	68,851	6,591
54	1,92	71,114	6,807
60	1,91	72,233	6,914
66	1,9	75,003	7,179
72	1,89	76,635	7,336



78	1,88	80,627	7,718
84	1,87	81,474	7,799
90	1,86	81,945	7,844
96	1,85	84,570	8,095
102	1,84	85,547	8,189
108	1,83	84,547	8,093
114	1,82	85,504	8,185
120	1,81	86,799	8,309
126	1,8	89,828	8,599
132	1,79	87,759	8,400
138	1,78	90,565	8,669
144	1,77	91,264	8,736
150	1,76	92,807	8,884
156	1,75	92,621	8,866
162	1,74	92,939	8,896
168	1,73	93,754	8,974

## LAMPIRAN C

### C.1. Gambar Geopolimer yang Telah Disintesis



Gambar proses pencetakan geopolimer



Gambar geopolimer dibungkus dengan plastik klip sebelum dioven



Gambar geopolimer yang direndam pada etanol teknis 95% untuk menghentikan proses geopolimerisasi.



Gambar geopolimer sebelum dan setelah *leaching*

## C.2. Gambar Rangkaian Alat *Leaching*



Gambar rangkaian alat *leaching*

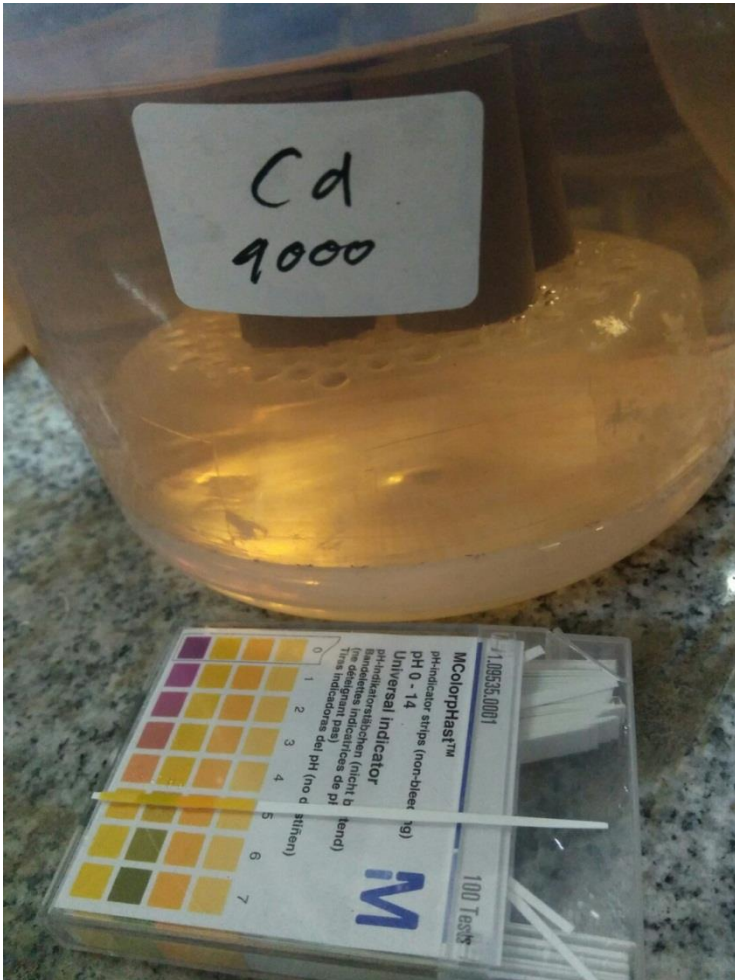


Gambar geopolimer yang dimasukkan kedalam alat *leaching*

### C.3. Gambar Pengujian pH akhir pada Proses Leaching



Gambar pengujian pH pada geopolimer dengan penambahan logam Cd 1000 ppm

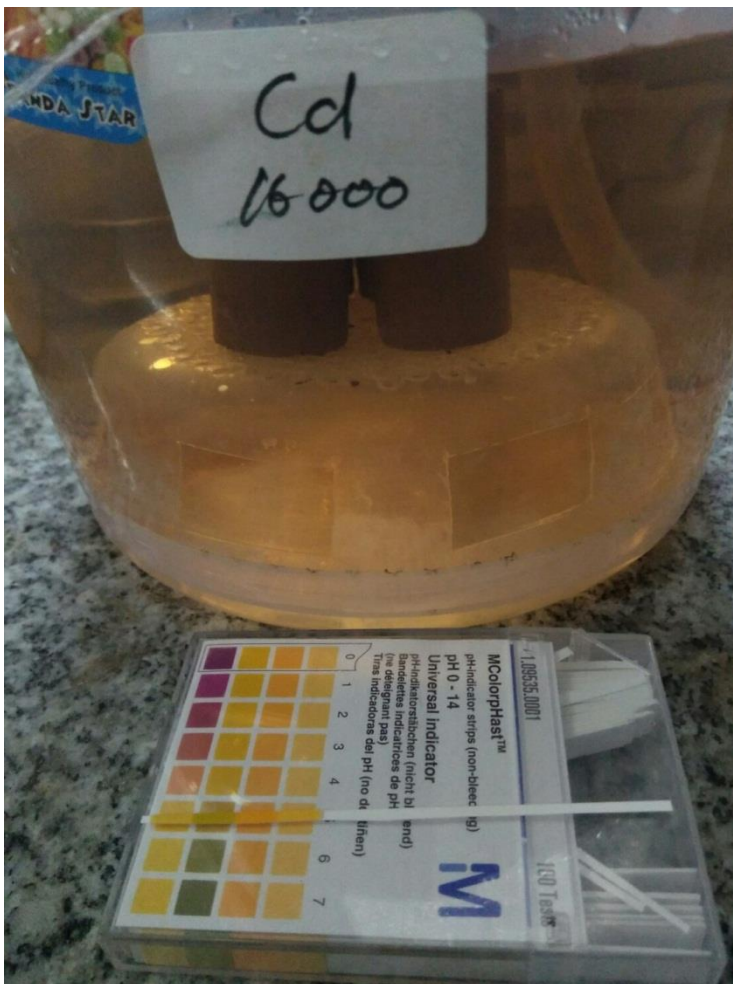


Gambar pengujian pH pada geopolimer dengan penambahan logam Cd 4000 ppm



Gambar pengujian pH pada geopolimer dengan penambahan logam Cd 8000 ppm





Gambar pengujian pH pada geopolimer dengan penambahan logam Cd 16000 ppm



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Bambang Hariyono biasa dipanggil Bambang, lahir di Tulungagung pada tanggal 16 Agustus 1996. Penulis tinggal di Desa Padangan RT/RW : 02/02 Kecamatan Ngantru Kabupaten Tulungagung. Penulis telah menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN Padangan 2, sekolah menengah pertama di SMP 2

Tulungagung, dan sekolah menengah atas di SMAN 1 Kauman, kemudian melanjutkan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Kimia Fakultas Ilmu Alam pada tahun 2014 yang terdaftar dengan NRP 01211440000002. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Semen Indonesia Tbk. Pabrik Tuban dan ditempatkan di divisi jaminan dan mutu. Penulis menyelesaikan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Kimia Fakultas Ilmu Alam dengan mengambil tugas akhir yang berjudul “Kinetika *Leaching* dari Logam Cd pada Geopolimer Berbasis Abu Layang PT. IPMOMI”. Penulis dapat dihubungi melalui email [hariyono.bam@gmail.com](mailto:hariyono.bam@gmail.com).